ՖԻԶԻԿԱ



9

«ԼՈՒՅՍ» հրատարակչություն

Ա. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ
Ա. ՄԱՄՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱ 9

ԵՐԵՎԱՆ «ԼՈՒՅՍ» 2005

Հաստատված է ՀՀ կրթության և գիտության նախարարության կողմից որպես հանրակրթական դպրոցի դասագիրք

Դասագրքի հեղինակներն են՝

Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու Ա. Մամյանը (1-11-րդ գլուխներ)
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր Ա. Կիրակոսյանը (12-18-րդ գլուխներ)

Լաբորատոր աշխատանքների բացատրականները՝ Վ. Կարապետյանի

Խմբագրությամբ՝
պրոֆեսոր Ա. Կիրակոսյանի

Կ $\frac{4306021200(16)}{702(01)}$ 2005

ISBN 5-545-01517-5



Հաստատված է ՀՀ կրթության և գիտության նախարարության կողմից որպես հանրակրթական դպրոցի դասագիրք

Դասագրքի հեղինակներն են՝

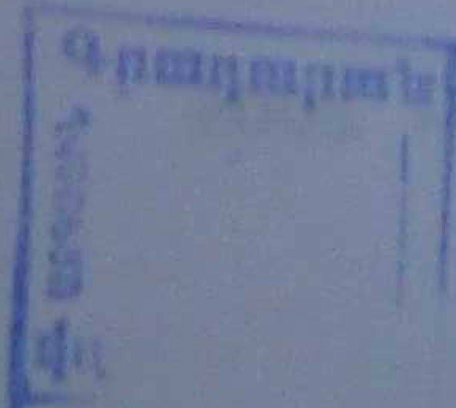
Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու Ա. Մամյանը (1-11-րդ գլուխներ)
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր Ա. Կիրակոսյանը (12-18-րդ գլուխներ)

Լաբորատոր աշխատանքների բացատրականները՝ Վ. Կարապետյանի

Խմբագրությամբ՝
պրոֆեսոր Ա. Կիրակոսյանի

Կ $\frac{4306021200(16)}{702(01)}$ 2005

ISBN 5-545-01517-5



Երկրորդ հրատարակության առաջաբանը

«Ֆիզիկա-9» դասագրքի երկրորդ հրատարակության մեջ պահպանվել է նյութի շարադրման թեմատիկ հաջորդականությունը, որը համապատասխանում է ՀՀ ԿԳ նախարարության կողմից հաստատված ծրագրին (Ֆիզիկա. Հայեցակարգ և Ծրագրեր միջնակարգ դպրոցի 7-10-րդ դասարանների համար. Երևան, 1996թ.): Աստղանիշով (*) տրված են Ծրագրում չընդգրկված թեմաները, որոնք նախատեսված են ֆիզիկամաթեմատիկական հոսքերի աշակերտների համար:

«Ֆիզիկա-9» դասագրքի առաջին հրատարակության (2000թ.) համեմատությամբ ներկա հրատարակության մեջ կատարվել են հետևյալ փոփոխությունները.

1. *Համեմատաբար մեծ ծավալով մի քանի պարագրաֆ տրոհվել է առանձին, ինքնուրույն պարագրաֆների, ինչը, կարծում ենք, կնպաստի ինչպես նյութի մատուցման հեշտացմանը, այնպես էլ յուրացման արդյունավետության բարձրացմանը: Որոշ պարագրաֆներ մասամբ վերաշարադրվել են:*
2. *Ավելացվել են մի քանի նոր բանաձևեր, գրաֆիկներ և գծագրեր, որոշ բանաձևեր արտածված են ավելի դյուրին եղանակով:*
3. *Բնականաբար, ուղղվել են առաջին հրատարակության մեջ առկա սխալները, վրիպակները և թերությունները:*

Հեղինակները երախտապարտ են բոլոր նրանց, ովքեր իրենց դիտողություններով և առաջարկներով օգնել են վերացնելու առաջին հրատարակության մեջ տեղ գտած թերությունները և կատարելու մի շարք բարելավումներ: Մեր հատուկ շնորհակալությունն ենք հայտնում դոցենտ Ս.Սահակյանին, դասախոս Ս.Մախլյանին (ՀՊՃՀ) և դոցենտ Ա.Պետրոսյանին (ԵՊՀ)՝ արժեքավոր և օգտակար դիտողությունների և առաջարկների համար:

Հեղինակներ

Դասագրքում օգտագործվող որոշ մաթեմատիկական նշանների բացատրությունները

$A \sim B$	A-ն համեմատական է B-ին, A-ն և B-ն նույն կարգի մեծություններ են
$A \approx B$	A-ն մոտավորապես հավասար է B-ին
$A \neq B$	A-ն հավասար չէ B-ին
$A >> B$	A-ն շատ մեծ է B-ից
$A << B$	A-ն շատ փոքր է B-ից
$A \geq B$	A-ն մեծ կամ հավասար է B-ին
$A \leq B$	A-ն փոքր կամ հավասար է B-ին
$A \div B$	A-ից մինչև B
$A \to B$	A-ն ձգտում է B-ին

Հունական այբուբեն

Α	α	ալֆա	Ι	ι	յոտա	Ρ	ρ	ռո
Β	β	բետա	Κ	κ	կապպա	Σ	σ	սիգմա
Γ	γ	գամմա	Λ	λ	լամբդա	Τ	τ	տաու
Δ	δ	դելտա	Μ	μ	մյու	Υ	υ	իփսիլոն
Ε	ε	էփսիլոն	Ν	ν	նյու	Φ	φ	ֆի
Ζ	ζ	ձետա	Ξ	ξ	քսի	Χ	χ	խի
Η	η	էտա	Ο	ο	օմիկրոն	Ψ	ψ	փսի
Θ	θ	թետա	Π	π	պի	Ω	ω	օմեգա

Բազմապատիկ նախածանցներ

Մեծացնող		
անվանումը	նշանակումը	արժեքը
Էքսա	Է	10^{18}
Պետա	Պ	10^{15}
Տերա	Տ	10^{12}
Գիգա	Գ	10^{9}
Մեգա	Մ	10^{6}
կիլո	կ	10^{3}

Փոքրացնող		
անվանումը	նշանակումը	արժեքը
միլի	մ	10^{-3}
միկրո	մկ	10^{-6}
նանո	ն	10^{-9}
պիկո	պ	10^{-12}
ֆեմտո	ֆ	10^{-15}
ատտո	ա	10^{-18}

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ներածություն

Այն ամենը, ինչ իրապես գոյություն ունի աշխարհում, Երկրի վրա և Երկրից դուրս՝ տարրական մասնիկները, ատոմներն ու մոլեկուլները, էլեկտրամագնիսական ալիքները, մեզ շրջապատող մարմինները, կենդանիները և բույսերը, այսինքն՝ այն ամենը, ինչ գոյություն ունի մեր գիտակցությունից անկախ և ազդում է կամ հատուկ սարքերի միջոցով կարող է ազդել մեր զգայարանների վրա, գիտության մեջ անվանում են ***մատերիա:***

Մատերիայի հիմնական հատկություններից մեկը ***շարժումն*** է: Լայն իմաստով «շարժում» ասելով ընդհանրապես հասկանում են մատերիայի ամեն մի փոփոխություն: Տարբեր բնական գիտությունների ուսումնասիրության առարկան մատերիայի շարժման տարբեր ձևերն են: Մասնավորապես, ֆիզիկայում ուսումնասիրվում են մատերիայի շարժման մի քանի, առավել ընդհանուր ձևեր և անցումները մի ձևից մյուսը: Ֆիզիկայի յուրաքանչյուր բաժին ուսումնասիրում է մատերիայի շարժման որոշակի ձև՝ մեխանիկական, մոլեկուլային, էլեկտրամագնիսական, միջուկային և այլն:

Մատերիայի շարժման բազմապիսի ձևերից պարզագույնը ***մեխանիկական շարժումն*** է: Ինչպես բնության ցանկացած երևույթի, այնպես էլ մեխանիկական շարժման օրենքների ուսումնասիրման հիմքում դրվում են դիտումները, փորձը, մարդու պրակտիկ գործունեությունը: Ֆիզիկան որպես գիտություն իր ժամանակակից տեսքով ձևավորվել է Գ. Գալիլեյի կատարած դիտարկումների, փորձերի և վերլուծությունների հիմքի վրա:

Փորձնական փաստերի ընդհանրացման հիման վրա էլ XVII դարում Ի.Նյուտոնը ձևակերպեց մեխանիկական շարժման ընդհանուր օրենքները, որոնք դրվեցին նյուտոնյան մեխանիկայի հիմքում: Այն ճիշտ է մակրոսկոպական մարմինների համար, որոնց արագությունները շատ անգամ փոքր են վակուումում լույսի տարածման արագությունից (մակրոսկոպական մարմին ասելով հասկանում են հսկայական թվով ատոմներից կազմված մարմին):

XX դարի սկզբին Ա.Այնշտայնի կողմից ստեղծված հարաբերականության հատուկ տեսության պահանջները հաշվի առնող ռելյատիվիստական մեխանիկային, ինչպես նաև նույն ժամանակաշրջանում Մ.Պլանկի կողմից սկիզբ դրած քվանտային ֆիզիկային մենք կծանոթանանք 10-րդ դասարանում: Այս գրքի «Մեխանիկա» բաժինը նվիրված է հենց նյուտոնյան մեխանիկային:

Մարմինների շարժումը տեղի է ունենում տարածության մեջ և ժամանակի ընթացքում:
Տարբեր պատահարների հաջորդականությունը, ինչպես նաև տարբեր պրոցեսների
ծագումը և դադարումը, որոնք տարբերվում են իրենց տևողությամբ, որոշում են այն,
ինչն անվանում են ***ժամանակ***: Ժամանակը մատերիայի գոյության ձևերից մեկն է: Որոշակի ծավալ զբաղեցնելու, սահմաններ և ներքին կառուցվածք ունենալու մարմինների
հատկությունը որոշում են մատերիայի գոյության մի այլ ձև, որն անվանում են
տարածություն: Տարածությունը և ժամանակը դասվում են հիմնական ֆիզիկական
հասկացությունների շարքին, ուստի հնարավոր չէ տալ դրանց հստակ սահմանումները:

Չնայած դրան, ֆիզիկայում չկա որևէ օրենք, որը չներառի այդ հասկացությունները: Ցանկացած երևույթ նկարագրող ֆիզիկական մեծությունների շարքում հանդես են գալիս տարածական և ժամանակային բնութագրեր: Այդպիսի բնութագրեր են ***հեռավորություն-ները*** և ***ժամանակահատվածները***:

Պատահարների միջև ընկած ժամանակահատվածները որոշվում են ժամացույցի չափումների միջոցով: Սկզբունքորեն, որպես ժամացույց կարող է ծառայել ցանկացած սարք կամ մարմինների համակարգ, որում որևէ պարբերական պրոցես է ընթանում: Այդպիսի պրոցեսների օրինակներ են ճոճանակի տատանումները, սեփական առանցքի շուրջը Երկրի պտույտը, ատոմների տատանումները և այլն: Կար ժամանակ, որ ժամանակահատվածը որոշում էին մարդու սրտի զարկերի թվով: Միջնադարում լայն տարածում ունեին ավազի ժամացույցները: Գալիլեյն իր փորձերում ժամանակահատվածը չափում էր անոթի ծորակից հոսած ջրի քանակով:

Կարևոր նշանակություն ունի ժամանակի միավորի ընտրությունը: Եթե որպես ժամացույց ընդունենք սեփական առանցքի շուրջը պտտվող Երկիրը, ապա ժամանակի բնական միավոր կհանդիսանա ***օրը***, եթե դիտարկենք Երկրի պտույտը Արեգակի շուրջը՝ ***տարին*** և այլն: Առավել ճշգրիտ ժամացույց է ատոմային ժամացույցը, որի միջոցով ներկայումս սահմանվում է ժամանակի չափման հիմնական միավորը Միջազգային համակարգում՝ ***վայրկյանը*** (վ): Օրը և տարին կապված են վայրկյանի հետ հետևյալ կերպ՝ 1 օր $\approx 8{,}6\cdot10^4$ վ, 1 տարին $\approx 3{,}1\cdot10^7$վ:

Տարածության մեջ հեռավորությունը չափելու համար պետք է երկարության միավոր ընտրել: Տարբեր ժողովուրդներ տարբեր ժամանակներում որպես այդպիսին օգտագործել են, օրինակ, քայլի երկարությունը, արմունկից մինչև միջնամատի ծայր հեռավորությունը, մեկ օրվա ընթացքում հետիոտնի անցած ճանապարհը և այլն: Ներկայումս որպես երկարության միավոր Միջազգային համակարգում ընդունված է ***մետրը*** (մ), որը հավասար է 1/299792458 վ-ում վակուումում լույսի անցած հեռավորությանը:

Նյուտոնը տարածությունը և ժամանակը համարում էր բացարձակ, այսինքն՝ անկախ ինչպես միմյանցից, այնպես էլ տարածության մեջ գտնվող մարմիններից ու տեղի ունեցող պրոցեսներից: Բացարձակ տարածությունը Նյուտոնի կողմից սահմանվում էր որպես իրերի անշարժ և չփոփոխվող «պահուստարան»: Ժամանակի մասին Նյուտոնը գրում է. «Բացարձակ, ճշմարիտ կամ մաթեմատիկական ժամանակը, շնորհիվ իր ներքին բնույթի, հոսում է համաչափ՝ ինքն իրեն, անկախ արտաքին ամեն ինչից»:

Հարաբերականության տեսությունը տարածության և ժամանակի պատկերացումների մեջ արմատական փոփոխություն մտցրեց: Ըստ այդ տեսության՝ մարմնի երկարությունը(տարածական բնութագիր) և նրա հետ տեղի ունեցող պատահարի տևողությունը (ժամանակային բնութագիր) կախված են մարմնի արագությունից, ինչը վկայում է մատերիայի հետ տարածության ու ժամանակի անխզելի կապի մասին:

Չնայած տարածության և ժամանակի մասին նյուտոնյան մոտավոր պատկերացումներին, դրանց վրա հիմնված նյուտոնյան մեխանիկան ճիշտ արդյունքներ է տալիս փոքր արագությամբ (լույսի արագության համեմատ) շարժվող մարմինների շարժումները ուսումնասիրելիս: Հենց այդպիսի մարմինների շարժումներն էլ մենք կուսումնասիրենք «Մեխանիկա» բաժնում:

Չնայած դրան, ֆիզիկայում չկա որևէ օրենք, որը չներառի այդ հասկացությունները: Ցանկացած երևույթ նկարագրող ֆիզիկական մեծությունների շարքում հանդես են գալիս տարածական և ժամանակային բնութագրեր: Այդպիսի բնութագրեր են ***հեռավորություն-ները*** և ***ժամանակահատվածները***:

Պատահարների միջև ընկած ժամանակահատվածները որոշվում են ժամացույցի ցուցմունքների միջոցով: Սկզբունքորեն, որպես ժամացույց կարող է ծառայել ցանկացած սարք կամ մարմինների համակարգ, որում որևէ պարբերական պրոցես է ընթանում: Այդպիսի պրոցեսների օրինակներ են ճոճանակի տատանումները, սեփական առանցքի շուրջը Երկրի պտույտը, ատոմների տատանումները և այլն: Կար ժամանակ, որ ժամանակահատվածը որոշում էին մարդու սրտի զարկերի թվով: Միջնադարում լայն տարածում ունեին ավազի ժամացույցները: Գալիլեյն իր փորձերում ժամանակահատվածը չափում էր անոթի ծորակից հոսած ջրի քանակով:

Կարևոր նշանակություն ունի ժամանակի միավորի ընտրությունը: Եթե որպես ժամացույց ընդունենք սեփական առանցքի շուրջը պտտվող Երկիրը, ապա ժամանակի բնական միավոր կհանդիսանա ***օրը***, եթե դիտարկենք Երկրի պտույտը Արեգակի շուրջը՝ ***տարին*** և այլն: Առավել ճշգրիտ ժամացույց է ատոմային ժամացույցը, որի միջոցով ներկայումս սահմանվում է ժամանակի չափման հիմնական միավորը Միջազգային համակարգում՝ ***վայրկյանը*** (վ): Օրը և տարին կապված են վայրկյանի հետ հետևյալ կերպ՝ 1 օր ≈ $8,6 \cdot 10^4$ վ, 1 տարին ≈ $3,1 \cdot 10^7$վ:

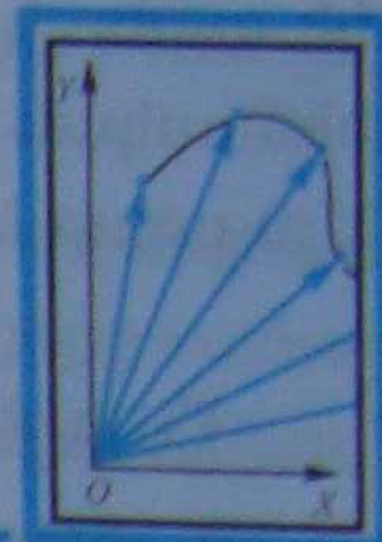
Տարածության մեջ հեռավորությունը չափելու համար պետք է երկարության միավոր ընտրել: Տարբեր ժողովուրդներ տարբեր ժամանակներում որպես այդպիսին օգտագործել են, օրինակ, քայլի երկարությունը, արմունկից մինչև միջնամատի ծայր հեռավորությունը, մեկ օրվա ընթացքում հետիոտնի անցած ճանապարհը և այլն: Ներկայումս որպես երկարության միավոր Միջազգային համակարգում ընդունված է ***մետրը*** (մ), որը հավասար է 1/299792458 վ-ում վակուումում լույսի անցած հեռավորությանը:

Նյուտոնը տարածությունը և ժամանակը համարում էր բացարձակ, այսինքն՝ անկախ ինչպես միմյանցից, այնպես էլ տարածության մեջ գտնվող մարմիններից ու տեղի ունեցող պրոցեսներից: Բացարձակ տարածությունը Նյուտոնի կողմից սահմանվում էր որպես իրերի անշարժ և չփոփոխվող «պահուստարան»: Ժամանակի մասին Նյուտոնը գրում է. «Բացարձակ, ճշմարիտ կամ մաթեմատիկական ժամանակը, շնորհիվ իր ներքին բնույթի, հոսում է համասեռ՝ ինքն իրեն, անկախ արտաքին ամեն ինչից»:

Հարաբերականության տեսությունը տարածության և ժամանակի պատկերացումների մեջ արմատական փոփոխություն մտցրեց: Ըստ այդ տեսության՝ մարմնի երկարությունը(տարածական բնութագիր) և նրա հետ տեղի ունեցող պատահարի տևողությունը (ժամանակային բնութագիր) կախված են մարմնի արագությունից, ինչը վկայում է մատերիայի հետ տարածության ու ժամանակի անխզելի կապի մասին:

Չնայած տարածության և ժամանակի մասին նյուտոնյան մոտավոր պատկերացումներին, դրանց վրա հիմնված նյուտոնյան մեխանիկան ճիշտ արդյունքներ է տալիս փոքր արագությամբ (լույսի արագության համեմատ) շարժվող մարմինների շարժումներն ուսումնասիրելիս: Հենց այդպիսի մարմինների շարժումներն էլ մենք կուսումնասիրենք «Մեխանիկա» բաժնում:

1 ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՏԵՂԵԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ՇԱՐԺՄԱՆ ՄԱՍԻՆ



§ 1. Մեխանիկական շարժում: Մեխանիկայի հիմնական խնդիրը

Մեզ շրջապատող աշխարհում *ամեն ինչ գտնվում է անընդհատ շարժման մեջ:* Շարժվում են մարդիկ՝ գյուղերի ու քաղաքների փողոցներում, թռչուններն ու կենդանիները՝ դաշտերում ու անտառներում, ձկները՝ գետերում, լճերում, ծովերում ու օվկիանոսներում: Շարժվում են մարդու կողմից ստեղծված ինքնաշարժները, ժամացույցի սլաքները: Շարժվում են՝ արյունը՝ արյունատար անոթներում, աղերի լուծույթները՝ բույսերում: Շարժվում են մոլեկուլներն ու ատոմները, որոնցից կազմված են բոլոր մարմինները:

Դիտելով մեր շրջապատը՝ մենք նկատում ենք նաև անշարժ մարմիններ: Կահույքն անշարժ դրված է սենյակում, հուշարձանն անշարժ կանգնած է պուրակում: Անշարժ են մեքենաներն ավտոտնակներում ու ավտոկանգառներում, չաշխատող վերամբարձ կռունկները՝ շինհրապարակներում, գնացքները՝ հավաքակայաններում և այլն: Սակայն այս և ուրիշ շատ օրինակներ չեն հակասում այն մտքին, որ աշխարհում ամեն ինչ գտնվում է անընդհատ շարժման մեջ: Երկրի նկատմամբ անշարժ մարմինները Երկրի հետ միասին պտտվում են վերջինիս առանցքի, ինչպես նաև՝ Արեգակի շուրջը, իսկ Արեգակի հետ միասին շարժվում են Տիեզերքում:

Աշխարհում ամեն ինչ տեղի է ունենում ինչ-որ տեղ և ինչ-որ ժամանակ. տարածության մեջ (որտե՞ղ) և ժամանակի ընթացքում (ե՞րբ): Մասնավորապես, յուրաքանչյուր մարմին ժամանակի յանկացած պահի այլ մարմինների նկատմամբ որոշակի դիրք է գրավում: Եթե ժամանակի ընթացքում մարմնի դիրքը տարածության մեջ փոխվում է, ապա ասում են, որ այն շարժվում է կամ կատարում է մեխանիկական շարժում: Միմյանց նկատմամբ դիրքերը կարող են փոխել ոչ միայն տարբեր մարմինները, այլև միևնույն մարմնի տարբեր մասերը: Օրինակ՝ տեղում քայլող մարզիկի մասին էլ են ասում, որ նա շարժվում է: Այս դեպքում մարզիկի իրանի նկատմամբ շարժվում են նրա ձեռքերը և ոտքերը:

Մեխանիկական շարժում կոչվում է ժամանակի ընթացքում տարածության մեջ մարմնի դիրքի փոփոխությունն այլ մարմինների նկատմամբ կամ մարմնի մասերի դիրքերի փոփոխությունն իրար նկատմամբ:

Ֆիզիկայի այն բաժինը, որն ուսումնասիրում է մարմինների մեխանիկական շարժումը, կոչվում է ***մեխանիկա***: Մեխանիկայի հիմնական խնդիրն է՝ ***որոշել մարմնի դիրքը տարածության մեջ ժամանակի յանկացած պահին:***

Առաջին հայացքից թվում է՝ խնդիրը միանգամայն հասկանալի է և կարելի է անմիջապես անցնել խնդրի լուծմանը, սակայն դա այդպես չէ, և խնդրի ձևակերպման մեջ մտնող հասկացությունները պարզաբանման կարիք ունեն: Օրինակ՝ ո՞ր մարմին-

ների մասին է խոսքը և ինչպիսի՞ մարմինների շարժումն է ուսումնասիրում մեխանիկան, ինչպե՞ս է նշվում ժամանակի պահը և, վերջապես, որ ամենակարևորն է, ի՞նչ է նշանակում լուծել մեխանիկայի հիմնական խնդիրը, այսինքն՝ ի՞նչ ենք ուզում ստանալ խնդրի լուծման արդյունքում: Այս բոլոր հարցերի պատասխանները կտանանք հաջորդ պարագրաֆներում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է ուսումնասիրում մեխանիկան:*
2. *Ի՞նչն են անվանում մեխանիկական շարժում:*
3. *Ի՞նչն են անվանում մառերիա:*
4. *Բերե՛ք օրինակ, որում երկու մարմիններ միմյանց նկատմամբ փոխում են իրենց դիրքերը:*
5. *Բերե՛ք օրինակ, որում մարմնի մասերն են իրար նկատմամբ փոխում իրենց դիրքերը:*
6. *Ձևակերպե՛ք մեխանիկայի հիմնական խնդիրը:*
7. *Ի՞նչ անհասկանալի արտահայտություններ կան մեխանիկայի հիմնական խնդրի ձևակերպման մեջ:*

§ 2. Նյութական կետ: Բացարձակ պինդ մարմին: Համընթաց շարժում: Պտտական շարժում

Մեխանիկայում ուսումնասիրվում են մարմինների մեխանիկական շարժումները, սակայն, ուսումնասիրվող օբյեկտի բնույթից կախված, մեխանիկան բաժանվում է *նյութական կետի մեխանիկայի*, *պինդ մարմնի մեխանիկայի* և *հոծ միջավայրի մեխանիկայի*:

Նյութական կետ կոչվում է այն մարմինը, որի չափերը տվյալ պայմաններում կարելի է անտեսել:

«Տվյալ պայմաններում» ասելով պետք է հասկանալ, որ միևնույն մարմինը մի դեպքում կարելի է համարել նյութական կետ, իսկ մեկ այլ դեպքում՝ ոչ: Օրինակ՝ կայարանում գնացքով ճանապարհորդության մեկնող խմբի անդամներին ուղղված այն հարցին, թե որտեղ են նրանց տեղերը, կարող են հետևել միանգամայն տարբեր պատասխաններ: Բնականաբար, այս պայմաններում գնացքը նյութական կետ համարել չի կարելի. այն կազմված է վագոններից, վագոններում կան ուղեբաժինններ, նստատեղեր և այլն: Սակայն եթե ճանապարհորդությունից վերադառնալուց հետո նույն խմբի անդամներին հարցնենք, թե ուր էին նրանք հասել ճանապարհորդությունը սկսելուց 24 ժ հետո, բոլորը կտան նույն պատասխանը, օրինակ՝ «Հասել էինք Կապան»: Այս դեպքում գնացքի չափերը շատ անգամ փոքր են նրա անցած հեռավորության համեմատությամբ, և այն նյութական կետ է համարվում:

Այսպիսով՝ «նյութական կետ» հասկացությունը հարաբերական է, այսինքն՝ կախված է կոնկրետ խնդրի պայմաններից: Եթե մարմնի չափերը բավականաչափ փոքր են իր անցած հեռավորության կամ մինչև մյուս մարմիններն ունեցած հեռավորությունների համեմատությամբ, ապա այն դիտարկվում է որպես կետ, այսինքն՝ մարմին, որը չափեր չունի:

Ցանկացած մարմին այլ մարմինների ազդեցությամբ այս կամ այն չափով փոխում է իր չափերը կամ ձևը, կամ և՛ մեկը, և՛ մյուսը: Մեխանիկայում «պինդ մարմին» ասելով

ների մասին է խոսքը և ինչպիսի՞ մարմինների շարժումն է ուսումնասիրում մեխանիկան, ինչպե՞ս է տրվում մարմնի դիրքը տարածության մեջ, ինչպե՞ս է նշվում ժամանակի պահը և, վերջապես, որ ամենակարևորն է, ի՞նչ է նշանակում լուծել մեխանիկայի հիմնական խնդիրը, այսինքն՝ ի՞նչ ենք ուզում ստանալ խնդրի լուծման արդյունքում: Այս բոլոր հարցերի պատասխանները կստանանք հաջորդ պարագրաֆներում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է ուսումնասիրում մեխանիկան:*
2. *Ի՞նչն են անվանում մեխանիկական շարժում:*
3. *Ի՞նչն են անվանում մատերիա:*
4. *Բերե՛ք օրինակ, որում երկու մարմիններ միմյանց նկատմամբ փոխում են իրենց դիրքերը:*
5. *Բերե՛ք օրինակ, որում մարմնի մասերն են իրար նկատմամբ փոխում իրենց դիրքերը:*
6. *Ձևակերպե՛ք մեխանիկայի հիմնական խնդիրը:*
7. *Ի՞նչ անհասկանալի արտահայտություններ կան մեխանիկայի հիմնական խնդրի ձևակերպման մեջ:*

§ 2. Նյութական կետ: Բացարձակ պինդ մարմին: Համընթաց շարժում: Պտտական շարժում

Մեխանիկայում ուսումնասիրվում են մարմինների մեխանիկական շարժումները, սակայն, ուսումնասիրվող օբյեկտի բնույթից կախված, մեխանիկան բաժանվում է ***նյութական կետի մեխանիկայի***, ***պինդ մարմնի մեխանիկայի*** և ***հոծ միջավայրի մեխանիկայի***:

Նյութական կետ կոչվում է այն մարմինը, որի չափերը տվյալ պայմաններում կարելի է անտեսել:

«Տվյալ պայմաններում» ասելով պետք է հասկանալ, որ միևնույն մարմինը մի դեպքում կարելի է համարել նյութական կետ, իսկ մեկ այլ դեպքում՝ ոչ: Օրինակ՝ կայարանում գնացքով ճանապարհորդության մեկնող խմբի անդամներին ուղղված այն հարցին, թե որտեղ են նրանց տեղերը, կարող են հետևել միանգամայն տարբեր պատասխաններ: Բնականաբար, այս պայմաններում գնացքը նյութական կետ համարել չի կարելի. այն կազմված է վագոններից, վագոններում կան ուղևորախցիկներ, նստատեղեր և այլն: Սակայն եթե ճանապարհորդությունից վերադառնալուց հետո նույն խմբի անդամներին հարցնենք, թե ուր էին նրանք հասել ճանապարհորդությունը սկսելուց 24 ժ հետո, բոլորը կտան նույն պատասխանը, օրինակ՝ «Հասել էինք Կապան»: Այս դեպքում գնացքի չափերը շատ անգամ փոքր են նրա անցած հեռավորության համեմատությամբ, և այն նյութական կետ է համարվում:

Այսպիսով՝ «նյութական կետ» հասկացությունը հարաբերական է, այսինքն՝ կախված է կոնկրետ խնդրի պայմաններից: Եթե մարմնի չափերը բավականաչափ փոքր են իր անցած հեռավորության կամ մինչև մյուս մարմինները ունեցած հեռավորությունների համեմատությամբ, ապա այն դիտարկվում է որպես կետ, այսինքն՝ մարմին, որը չափեր չունի:

Ցանկացած մարմին այլ մարմինների ազդեցությամբ այս կամ այն չափով փոխում է իր չափերը կամ ձևը, կամ և՛ մեկը, և՛ մյուսը: Մեխանիկայում «պինդ մարմին» ասելով

հասկանում են բացարձակ պինդ մարմին, այսինքն՝ մարմին, որի չափերի կամ ձևի փոփոխությունները տվյալ պայմաններում կարելի է անտեսել:

Բացարձակ պինդ կոչվում է այն մարմինը, որի ցանկացած երկու կետերի հեռավորությունը շարժման ընթացքում չի փոխվում:

Եթե բացարձակ պինդ մարմնի բոլոր կետերը շարժվում են միատեսակ, ապա մարմնի շարժումը նկարագրելու համար բավական է որոշել մարմնի որևէ կետի դիրքերը ժամանակի տարբեր պահերին: Մյուս կետերի դիրքերը կորոշվեն միարժեքորեն: Օրինակ՝ միատեսակ են շարժվում գավաթի բոլոր կետերը, երբ նրանով թեյ են մատուցում (նկ.1): Այս դեպքում մարմնի վրա գտնվող ցանկացած երկու կետեր միացնող ուղիղը շարժման ընթացքում մնում է ինքն իրեն զուգահեռ: Մարմինների այսպիսի շարժումն անվանում են ***համընթաց*** : Համընթաց են շարժվում գետով ընթացող բեռնանավը, ճոպանուղու ուղևորախցիկը, բետոնե սալը՝ վերամբարձ կռունկով բարձրացնելիս և այլն: Այսպիսով՝ մարմնի համընթաց շարժման ուսումնասիրությունը հանգում է նրա որևէ կետի շարժման ուսումնասիրությանը:

Համընթաց կոչվում է այն շարժումը, որի ընթացքում մարմնի ցանկացած երկու կետեր միացնող ուղիղը մնում է ինքն իրեն զուգահեռ:

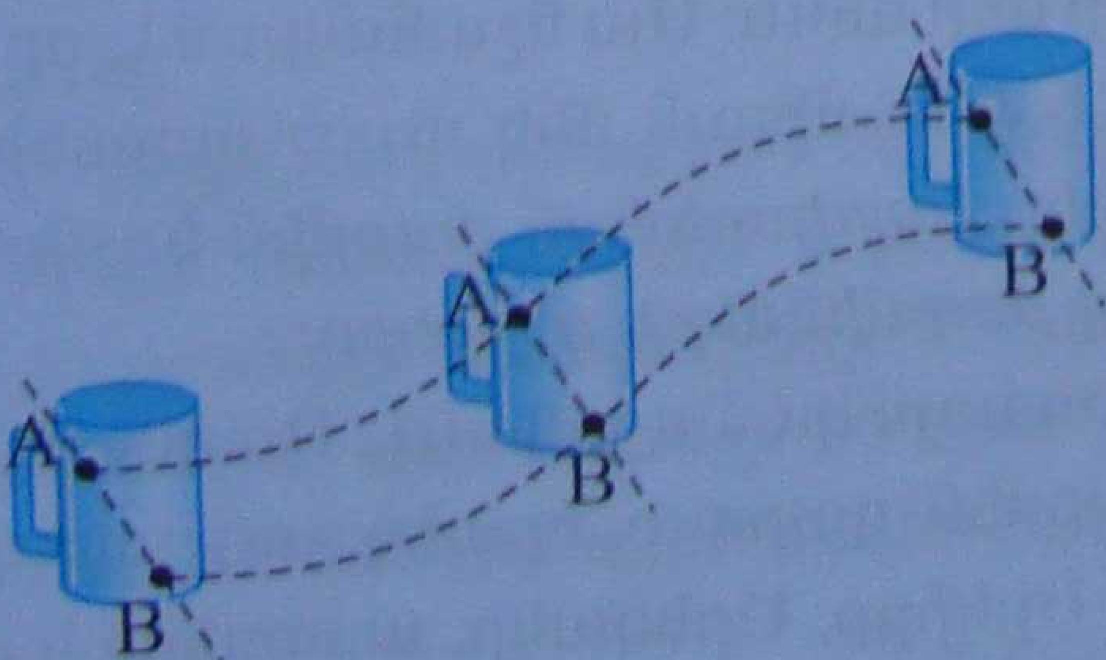
Բացարձակ պինդ մարմնի շարժման ուսումնասիրությունը հանգեցվում է նրա որևէ կետի շարժման ուսումնասիրությանը նաև այն դեպքում, երբ մարմնի բոլոր կետերը շարժվում են այնպիսի շրջանագծերով, որոնց կենտրոններն ընկած են շրջանագծերի հարթություններին ուղղահայաց ուղղի վրա: Այդ ուղիղը կոչվում է ***պտտման առանցք*** (նկ. 2-ում՝ OO′ ուղիղը), իսկ մարմնի շարժումը՝ ***պտտական***: Այդպես են շարժվում, օրինակ, ժամացույցի սլաքները, ձայնասկավառակը, մսաղացի բռնակը և այլն:

Պտտական կոչվում է մարմնի այն շարժումը, որի ընթացքում նրա բոլոր կետերը շարժվում են շրջանագծերով, որոնց կենտրոնները գտնվում են մի ուղղի՝ պտտման առանցքի վրա, որն ուղղահայաց է շրջանագծերի հարթություններին:

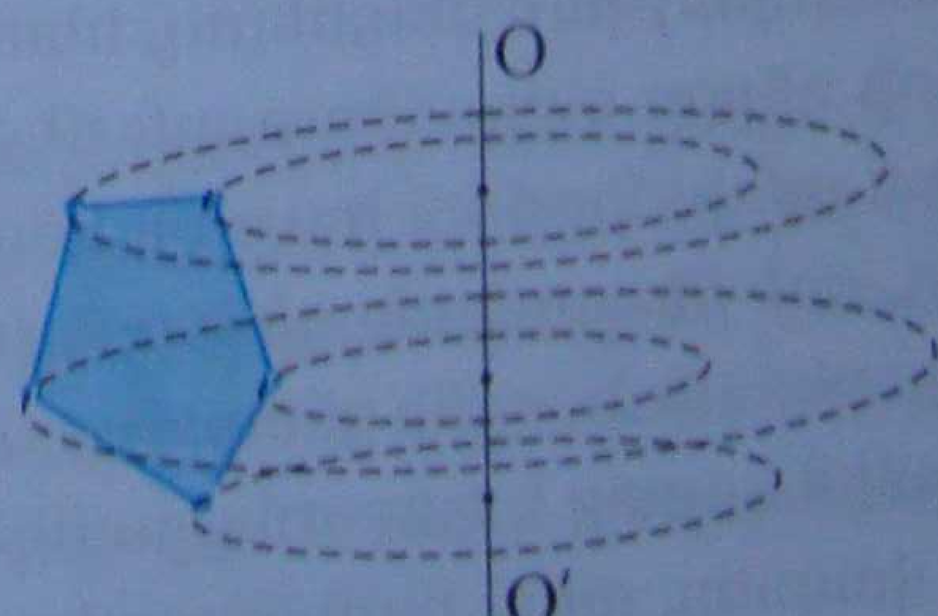
Պտտման առանցքը կարող է անցնել մարմնով, կարող է և՝ չանցնել՝ գտնվել նրանից դուրս: Առաջին դեպքում մարմնի՝ պտտման առանցքի վրա գտնվող կետերը չեն մասնակցում պտտական շարժմանը:

Մենք կսահմանափակվենք, այսպես կոչված, ***հարթ*** շարժումով, որի դեպքում մարմնի բոլոր կետերը տեղափոխվում են զուգահեռ հարթություններում (բոլոր պտտման առանցքերն ուղղահայաց են այդ հարթություններին):

Պինդ մարմնի կամայական հարթ շարժումը հնարավոր է ներկայացնել որպես երկու՝ համընթաց և պտտական շարժումների վերադրում: Իրոք, ենթադրենք՝ նկ. 3-ում կապատկերված մարմինը I դիրքից հասել է II դիրքին: Մարմնի վերջնական դիրքին կարելի է հասնել նաև նախ՝ այն համընթաց տեղափոխելով՝ մինչև նրա որևէ կետի դիրքը

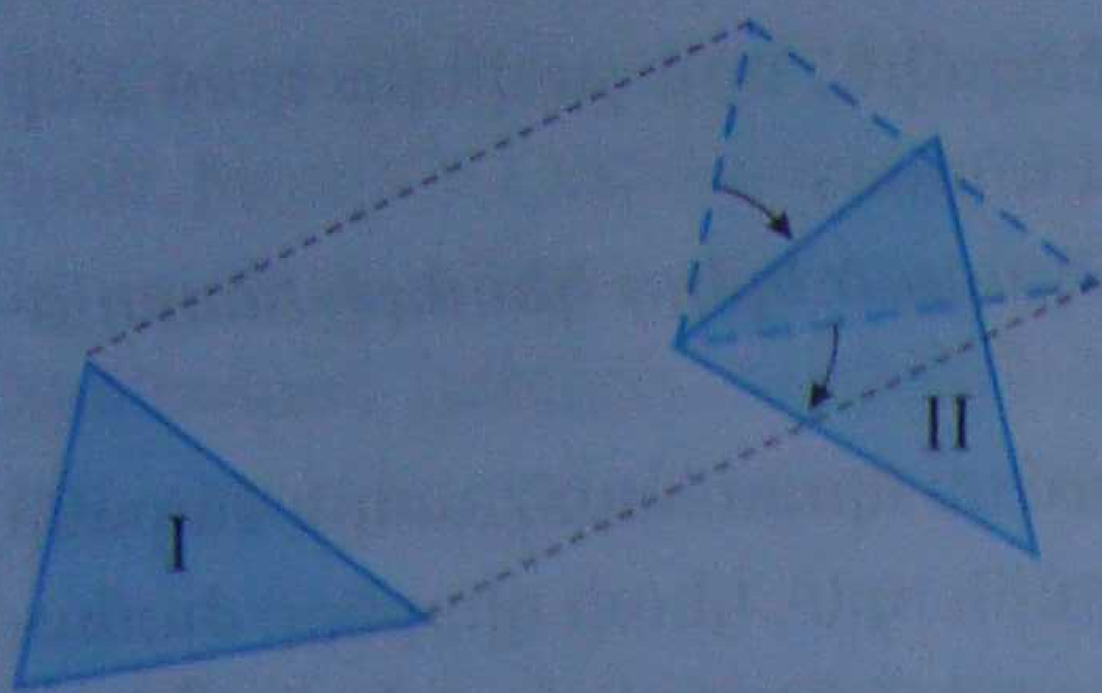


Նկ. 1



Նկ. 2

վերջնական դիրքի հետ համընկնելը, այնուհետև՝ այդ կետով անցնող առանցքի շուրջը համապատասխան անկյունով պտտելով:



Նկ. 3

Հոծ միջավայրի մեխանիկան ուսումնասիրում է գազերի, հեղուկների և պինդ մարմինների շարժումը և հավասարակշռությունը՝ նյութը դիտելով որպես անընդհատ, հոծ միջավայր՝ հաշվի չառնելով նրա մոլեկուլային կառուցվածքը:

Մեխանիկան պայմանականորեն բաժանում են երեք բաժինների՝ ***կինեմատիկա, դինամիկա*** և ***ստատիկա***: Կինեմատիկան նկարագրում է մարմինների շարժումները՝ առանց քննարկելու դրանք առաջացնող պատճառները, դինամիկան ուսումնասիրում է մարմինների շարժումներն ու այն պատճառները, որոնցով պայմանավորված է շարժման բնույթը, իսկ ստատիկան ուսումնասիրում է մարմինների հավասարակշռությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում նյութական կետ:*
2. *Ի՞նչ պայմանի դեպքում կարելի է անտեսել մարմնի չափերը :*
3. *Կարելի՞ է արդյոք ավտոմեքենան համարել նյութական կետ, երբ՝*
   ա) քարտեզի վրա գծում են ավտոմեքենայի երթուղին,
   բ) նորոգում են ավտոմեքենան:
4. *Ո՞ր մարմինն է կոչվում բացարձակ պինդ:*
5. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում համընթաց: Բե՛ր՛ք օրինակ:*
6. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում պտտական: Բե՛ր՛ք օրինակ:*

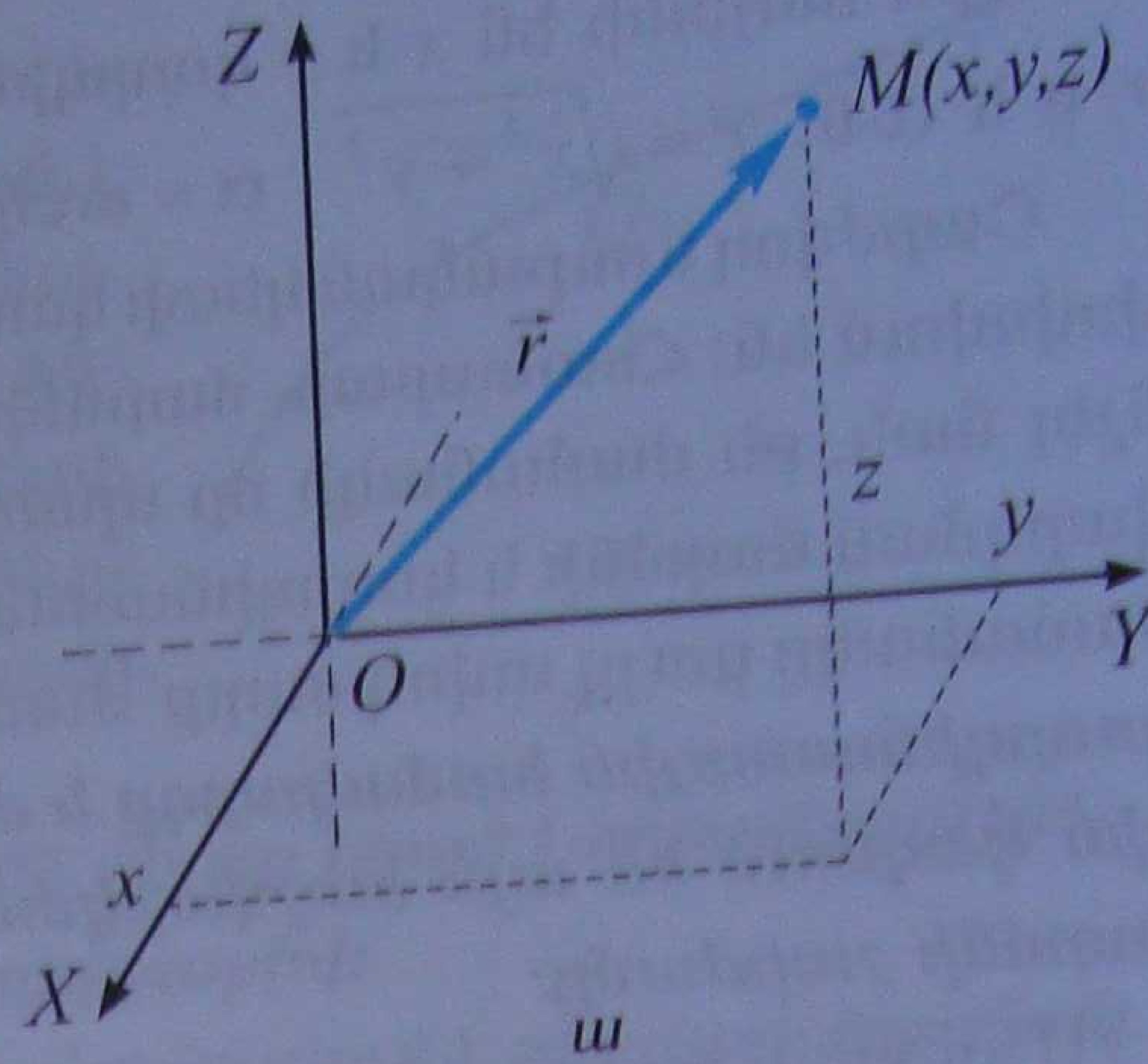
§ 3. Մարմնի դիրքը տարածության մեջ: Հաշվարկման համակարգ: Հետագիծ

Մեխանիկական շարժման՝ իբրև տարածության մեջ մարմինների փոխադարձ դիրքերի փոփոխության, սահմանումից հետևում է, որ մարմնի շարժման ուսումնասիրությունը պետք է սկսել առաջին հերթին այն մարմնի ընտրությունից, որի նկատմամբ դիտարկվում է շարժումը: Այսպես ենք մենք վարվում նաև առօրյա կյանքում: Փորձե՛ք ձեր դասընկերոջը, որը չգիտի ձեր տան տեղը, բացատրել, թե նա ինչպես կարող է գալ ձեր տուն, և հետևե՛ք, թե ինչպես եք դուք դա անում: Նախ՝ դուք անպայման փորձում եք գտնել ձեր տանն ամենամոտ գտնվող մի առարկա (մարմին), որը ծանոթ լինի դասընկերոջը: Այնուհետև՝ասում եք, թե որ ուղղությամբ նա պետք է շարժվի այդ առարկայից և ինչ հեռավորություն անցնելուց հետո կհասնի ձեր տուն: Սա նշանակում է, որ մարմնի կամ կետի դիրքը տարածության մեջ կարելի է տալ միայն մեկ ուրիշ մարմնի նկատմամբ, որն անվանում են հաշվարկման մարմին: ***Հաշվարկման մարմին կոչվում է այն մարմինը, որի նկատմամբ դիտարկվում են այլ մարմինների դիրքերը:***

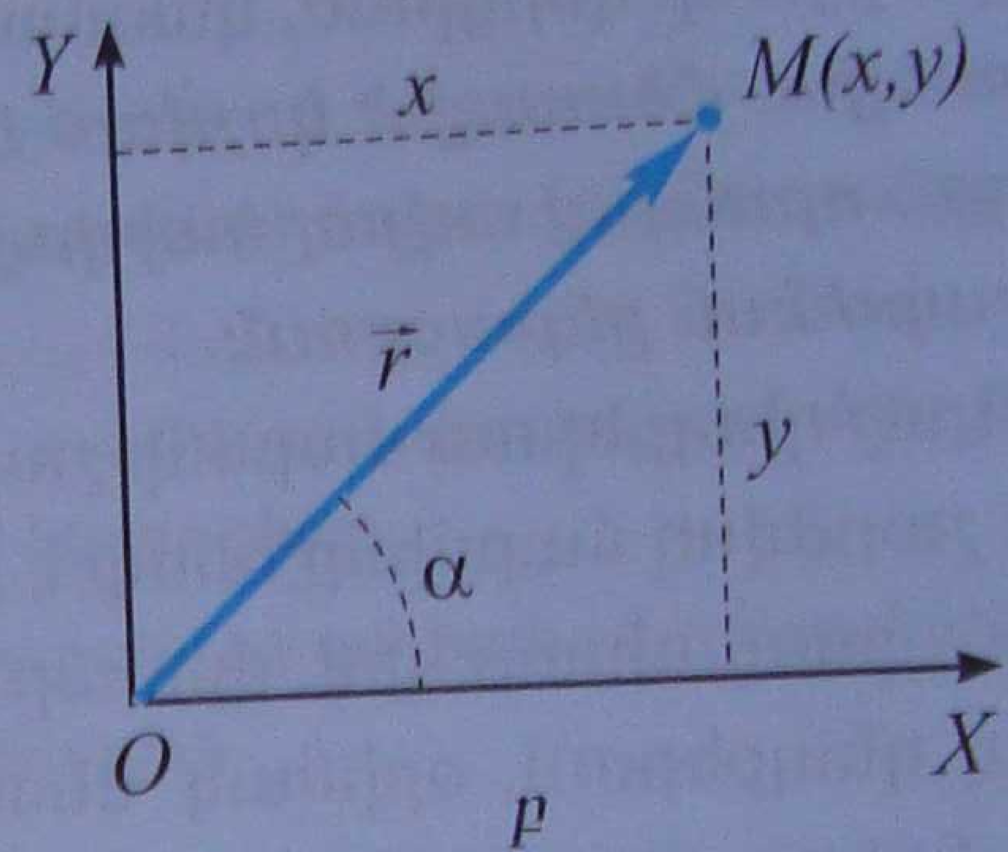
Հաշվարկման մարմնի ընտրությունը միանգամայն կամայական է: Որպես հաշվարկման մարմին կարող է ծառայել ցանկացած մարմին՝ դպրոցը, որտեղ դուք սովորում եք, գնացքի վագոնը, որով ճանապարհորդում եք, Երկիրը, Արեգակը, աստղերը և այլն:

Եթե հաշվարկման մարմինն ընտրված է, ապա մարմնի դիրքը կարելի է տալ հետևյալ եղանակներից որևէ մեկով՝ ***կոորդինատային, վեկտորական*** և ***բնական***:

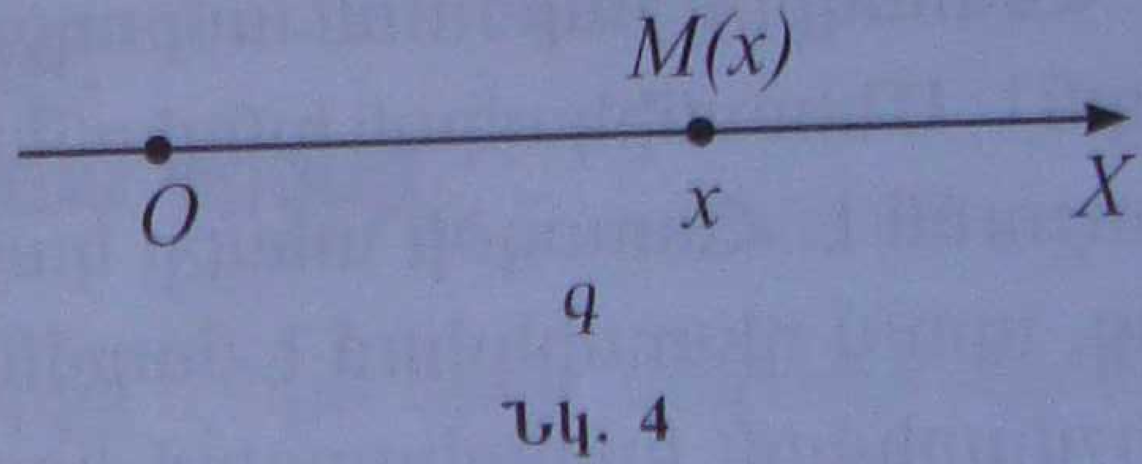
Կոորդինատային եղանակի դեպքում տարածության մեջ մարմնի դիրքը որոշելու համար առավել հաճախ հաշվարկման մարմնի հետ կապում են ուղղանկյուն դեկարտյան կոորդինատային համակարգ: Այս դեպքում հաշվարկման մարմնի որևէ կետ համարում են հաշվարկման սկզբնակետ և այդ կետով տանում կոորդինատների երեք փոխուղղահայաց առանցքներ՝ OX, OY և OZ (նկ. 4,*ա*): Մարմնի յաց առանցքները՝ ... համապատասխան կետի դիրքը որոշվում է նրա x, y և z կոորդինատներով: M կետի z կոորդինատը նրա հեռավորությունն է XY հարթությունից, ընդ որում, կոորդինատը դրական է, եթե M կետը գտնվում է OZ առանցքի դրական կողմում, և բացասական՝ հակառակ դեպքում: Նման ձևով x և y կոորդինատները M կետի հեռավորություններն են համապատասխանաբար YZ և XZ հարթություններից: Այսպիսով՝ կետի դիրքը տարածության մեջ որոշում են երեք թվերով՝ կոորդինատներով: Իսկ ինչու՞ երեք, որովհետև այն տարածությունը, որում մենք ապրում ենք, երեք չափումների կամ, ինչպես ասում են, ***եռաչափ*** տարածություն է:



ա



բ



գ

Նկ. 4

Եթե մարմինը շարժվում է մի հարթության մեջ (օրինակ՝ նավակը՝ լճում), ապա բավական է ընտրել երկու կոորդինատային առանցք (նկ. 4,*բ*): Այս դեպքում մարմնի x կոորդինատը նրա հեռավորությունն է Y առանցքից, իսկ y կոորդինատը՝ հեռավորությունը X առանցքից՝ վերցրած համապատասխան նշաններով:

Եթե մարմինը շարժվում է ուղիղ գծի երկայնքով, ապա կոորդինատային առանցքներից մեկն ուղղելով այդ ուղղով, մարմնի դիրքը ցանկացած պահին կարելի է որոշել մեկ կոորդինատով (նկ. 4,*գ*):

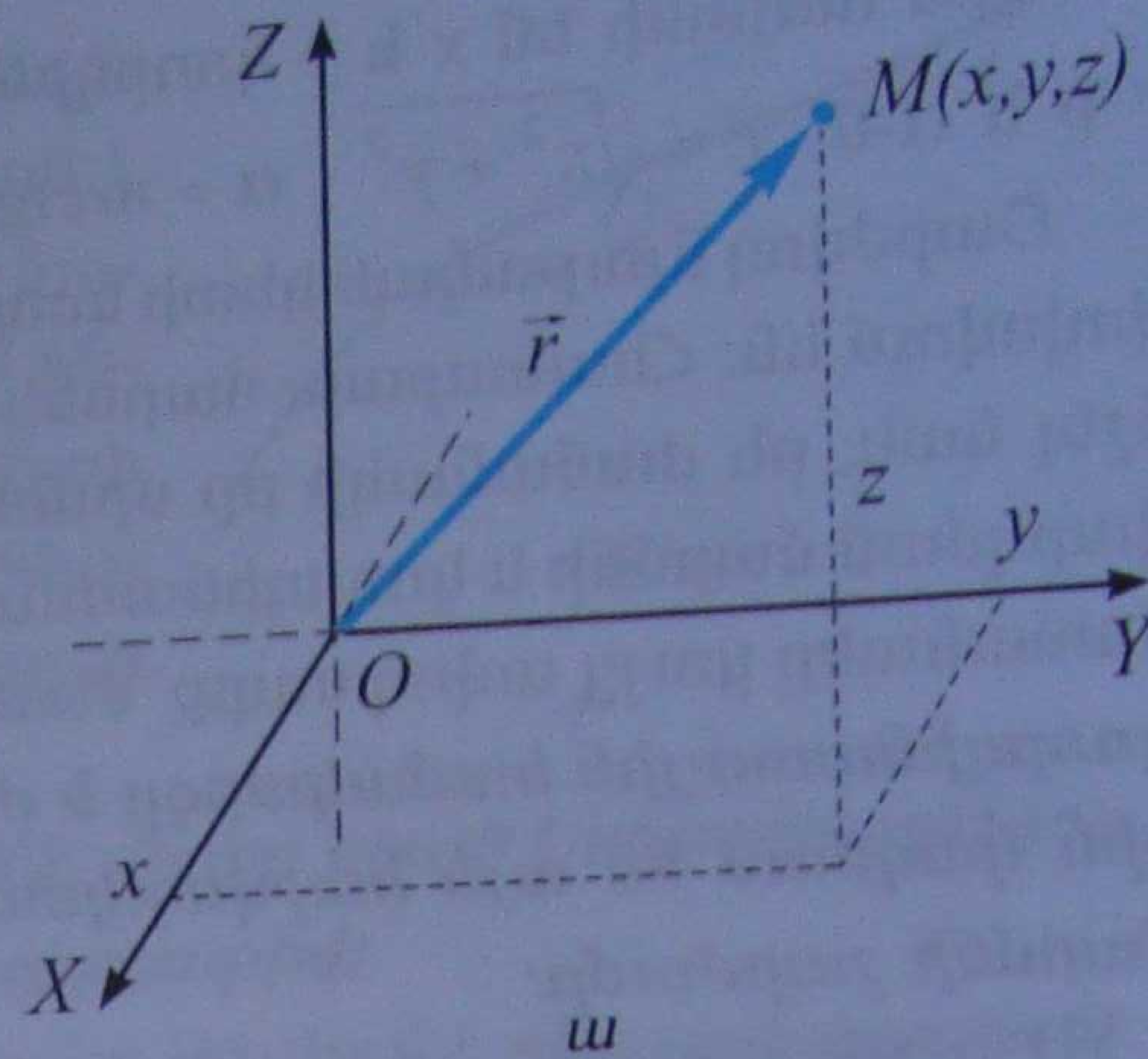
Վեկտորական եղանակի դեպքում կետի դիրքը տրվում է շառավիղ-վեկտորի միջոցով: M կետի ***$\vec{r}$ շառավիղ-վեկտոր կոչվում է հաշվարկման սկզբնակետն այդ կետին միացնող ուղղորդված հատվածը*** (նկ. 4,*ա*, *բ*): Ուստի այս դեպքում մարմնի դիրքը որոշված է, եթե հայտնի են նրա դիրքի շառավիղ-վեկտորի ուղղությունը և երկարությունը:

Կետի դիրքը տարածության մեջ նշելու եղանակներն իրար համարժեք են, այսինքն, եթե հայտնի է մարմնի դիրքի $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորը, ապա կարելի է որոշել նրա x, y ու z կոորդինատները, և հակառակը: Օրինակ՝ երկչափ շարժման դեպքում շառավիղ-վեկտորը հայտնի է, եթե հայտնի են նրա երկարությունը (r) և ուղղությունը (X առանցքի հետ կազմած α անկյունը): Ինչպես երևում է նկ. 4,*բ*-ից, M կետի կոորդինատներն են՝

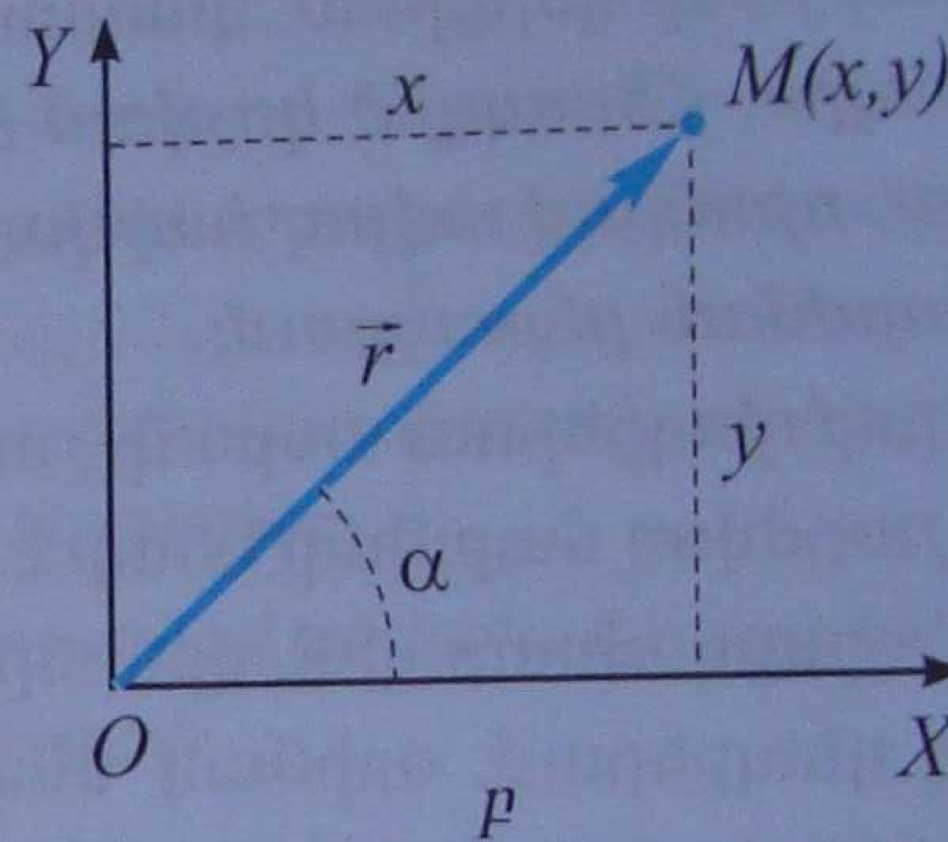
$$x = r\cos\alpha, \quad y = r\sin\alpha \quad : \qquad (1.1)$$

Եթե հաշվարկման մարմինն ընտրված է, ապա մարմնի դիրքը կարելի է տալ հետևյալ եղանակներից որևէ մեկով՝ ***կոորդինատային, վեկտորական*** և ***բնական***:

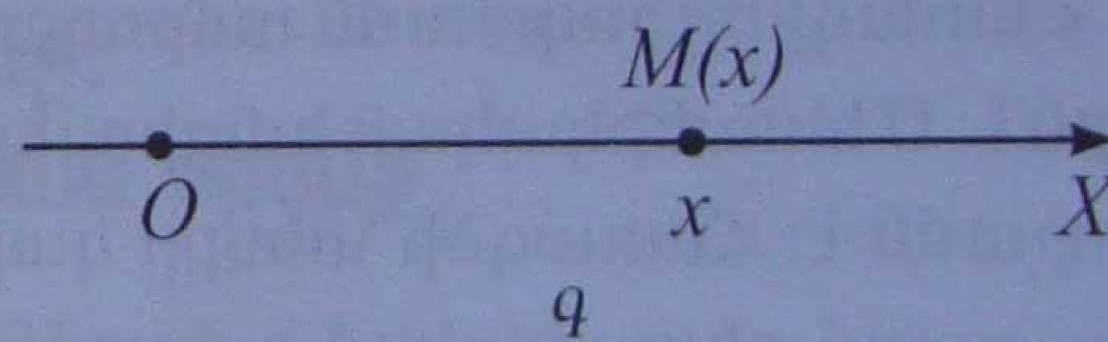
Կոորդինատային եղանակի դեպքում տարածության մեջ մարմնի դիրքը որոշելու համար առավել հաճախ հաշվարկման մարմնի հետ կապում են ուղղանկյուն դեկարտյան կոորդինատային համակարգ: Այս դեպքում հաշվարկման մարմնի որևէ կետ համարում են հաշվարկման սկզբնակետ և այդ կետով տանում կոորդինատների երեք փոխուղղահայաց առանցքներ՝ OX, OY և OZ (նկ. 4,ա): Մարմնի յանկացած կետի դիրքը որոշվում է նրա x, y և z կոորդինատներով: M կետի z կոորդինատը նրա հեռավորությունն է XY հարթությունից, ընդ որում, կոորդինատը դրական է, եթե M կետը գտնվում է OZ առանցքի դրական կողմում, և բացասական՝ հակառակ դեպքում: Նման ձևով x և y կոորդինատները M կետի հեռավորություններն են համապատասխանաբար YZ և XZ հարթություններից: Այսպիսով՝ կետի դիրքը տարածության մեջ որոշում են երեք թվերով՝ կոորդինատներով: Իսկ ինչու՞ երեք, որովհետև այն տարածությունը, որում մենք ապրում ենք, երեք չափումների կամ, ինչպես ասում են, ***եռաչափ*** տարածություն է:



ա



բ



գ

Նկ. 4

Եթե մարմինը շարժվում է մի հարթության մեջ (օրինակ՝ նավակը՝ լճում), ապա բավական է ընտրել երկու կոորդինատային առանցք (նկ. 4,բ): Այս դեպքում մարմնի x կոորդինատը նրա հեռավորությունն է Y առանցքից, իսկ y կոորդինատը՝ հեռավորությունը X առանցքից՝ վերցրած համապատասխան նշաններով:

Եթե մարմինը շարժվում է ուղիղ գծի երկայնքով, ապա կոորդինատային առանցքներից մեկն ուղղելով այդ ուղղով, մարմնի դիրքը ցանկացած պահին կարելի է որոշել մեկ կոորդինատով (նկ. 4,գ):

Վեկտորական եղանակի դեպքում կետի դիրքը տրվում է շառավիղ-վեկտորի միջոցով: M կետի ***$\vec{r}$ շառավիղ-վեկտոր կոչվում է հաշվարկման սկզբնակետն այդ կետին միացնող ուղղորդված հատվածը*** (նկ. 4,ա, բ): Ուստի այս դեպքում մարմնի դիրքը որոշված է, եթե հայտնի են նրա դիրքի շառավիղ-վեկտորի ուղղությունը և երկարությունը:

Կետի դիրքը տարածության մեջ նշելու եղանակներն իրար համարժեք են, այսինքն, եթե հայտնի է մարմնի դիրքի $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորը, ապա կարելի է որոշել նրա x, y ու z կոորդինատները, և հակառակը: Օրինակ՝ երկչափ շարժման դեպքում շառավիղ-վեկտորը հայտնի է, եթե հայտնի են նրա երկարությունը (r) և ուղղությունը (X առանցքի հետ կազմած α անկյունը): Ինչպես երևում է նկ. 4,բ -ից, M կետի կոորդինատներն են՝

$$x = r\cos\alpha, \quad y = r\sin\alpha \quad : \qquad (1.1)$$

Եթե հայտնի են x և y կոորդինատները, ապա (1.1) բանաձևերից կարելի է որոշել r-ը և α-ն. $r=\sqrt{x^2+y^2}$, $\alpha = arctg\ (y/x)$:

Շարժվող նյութական կետի կոորդինատները ժամանակի ընթացքում անընդհատ փոփոխվում են: Հետևաբար, մարմնի կոորդինատները նշելուն զուգընթաց անհրաժեշտ է նշել նաև, թե ժամանակի որ պահին են դրանք համապատասխանում: Ուստի հաշվարկման մարմնի և կոորդինատային առանցքների հետ մեկտեղ պետք է ունենալ նաև ժամանակը ցույց տվող սարք՝ ժամացույց: *Հաշվարկման մարմինը, նրա հետ կապված **կոորդինատային համակարգը և ժամանակի հաշվարկման սարքը՝ ժամացույցը, միասին կազմում են այն հաշվարկման համակարգը, որի նկատմամբ էլ դիտարկվում է մարմնի շարժումը:***

Մարմինն իր շարժման ընթացքում անցնում է որոշակի կետերով: Այդ կետերը, ամբողջությամբ վերցրած, կազմում են որոշակի գիծ, որն անվանում են մարմնի շարժման **հետագիծ**: ***Հետագիծ կոչվում է այն կետերի բազմությունը (կետերի երկրաչափական տեղը), որոնցով տվյալ հաշվարկման համակարգում հաջորդաբար անցնում է մարմինը շարժման ընթացքում:***

Որոշ դեպքերում մարմնի շարժման ընթացքում հետագիծը կարող է տեսանելի լինել: Եթե շարժվող մարմինը հետք է թողնում, ինչպես, օրինակ, դահուկորդը՝ ձյան վրա, կավիճը՝ գրատախտակին, վրձինը՝ կտավի վրա և այլն, ապա հետագիծը հենց այդ հետքն է: Այլ դեպքերում, օրինակ՝ նետված գնդակի, չոր ճանապարհով ընթացող մեքենայի, թռչունների, մոլորակների շարժման հետագծերը չեն երևում:

Հետագիծը շարժումն ամբողջությամբ նկարագրող առաջին կարևորագույն բնութագիրն է: Մեխանիկական խնդիրների լուծման կարևոր փուլերից մեկը շարժման հետագծի որոշումն է: Հետագծի տեսքը կախված է այն հաշվարկման համակարգի ընտրությունից, որում դիտարկվում է մարմնի շարժումը: Այսպես, ավտոմեքենայի հետ կապված հաշվարկման համակարգում նրա անվի C կենտրոնը գտնվում է դադարի վիճակում, իսկ B և A կետերի հետագծերը շրջանագծեր են՝ համապատասխանաբար CB և CA շառավիղներով (նկ.5): Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգում C կետի հետագիծն ուղիղ գիծ է, իսկ B և A կետերի հետագծերն ունեն նկ.5-ում պատկերված բարդ տեսքը:

Երբեմն մարմինների շարժման հետագծերը նախապես հայտնի են: Այսպես, երկաթուղին ամբողջությամբ որոշում է գնացքի շարժման հետագիծը, մայրուղին՝ ավտոմեքենայի, գետի հունը՝ շոգենավի և այլն: Այդ պատճառով ընդունված է հետագիծ անվանել նաև այն գիծը, որով պետք է շարժվի մարմինը: Եթե ուշադրություն դարձնեք, ապա մայրուղիների ճամփեզրին կնկատեք սյուներ, որոնց վրա թվեր են գրված: Այդ թվերը ցույց են տալիս մայրուղու սկզբից (սկզբնակետից) մինչև տվյալ սյունը եղած հեռավորությունը, այսինքն՝ տվյալ կետի դիրքը:



Նկ. 5

Եթե հայտնի են x և y կոորդինատները, ապա (1.1) բանաձևերից կարելի է որոշել r-ը և α-ն. $r=\sqrt{x^2+y^2}$, $\alpha = arctg\ (y/x)$:

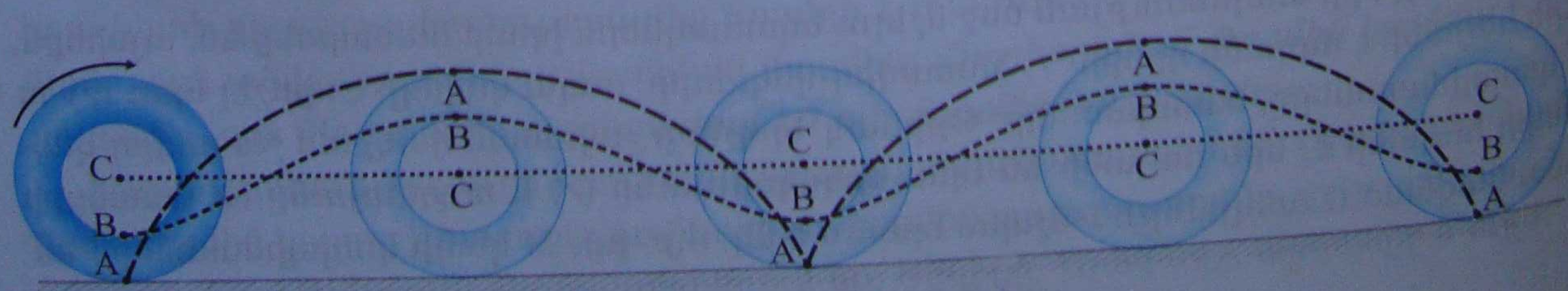
Շարժվող նյութական կետի կոորդինատները ժամանակի ընթացքում անընդհատ փոփոխվում են: Հետևաբար, մարմնի կոորդինատները նշելուն զուգընթաց անհրաժեշտ է նշել նաև, թե ժամանակի որ պահերին են դրանք համապատասխանում: Ուստի հաշվարկման մարմնի և կոորդինատային առանցքների հետ մեկտեղ պետք է ունենալ նաև ժամանակը ցույց տվող սարք՝ ժամացույց: ***Հաշվարկման մարմինը, նրա հետ կապված կոորդինատային համակարգը և ժամանակի հաշվարկման սարքը՝ ժամացույցը, միասին կազմում են այն հաշվարկման համակարգը, որի նկատմամբ էլ դիտարկվում է մարմնի շարժումը:***

Մարմինն իր շարժման ընթացքում անցնում է որոշակի կետերով: Այդ կետերը, ամբողջությամբ վերցրած, կազմում են որոշակի գիծ, որն անվանում են մարմնի շարժման ***հետագիծ: Հետագիծ կոչվում է այն կետերի բազմությունը (կետերի երկրաչափական տեղը), որոնցով տվյալ հաշվարկման համակարգում հաջորդաբար անցնում է մարմինը շարժման ընթացքում:***

Որոշ դեպքերում մարմնի շարժման ընթացքում հետագիծը կարող է տեսանելի լինել: Եթե շարժվող մարմինը հետք է թողնում, ինչպես, օրինակ, դահուկորդը՝ ձյան վրա, կավիճը՝ գրատախտակին, վրձինը՝ կտավի վրա և այլն, ապա հետագիծը հենց այդ հետքն է: Այլ դեպքերում, օրինակ՝ նետված գնդակի, չոր ճանապարհով ընթացող մեքենայի, թռչունների, մոլորակների շարժման հետագծերը չեն երևում:

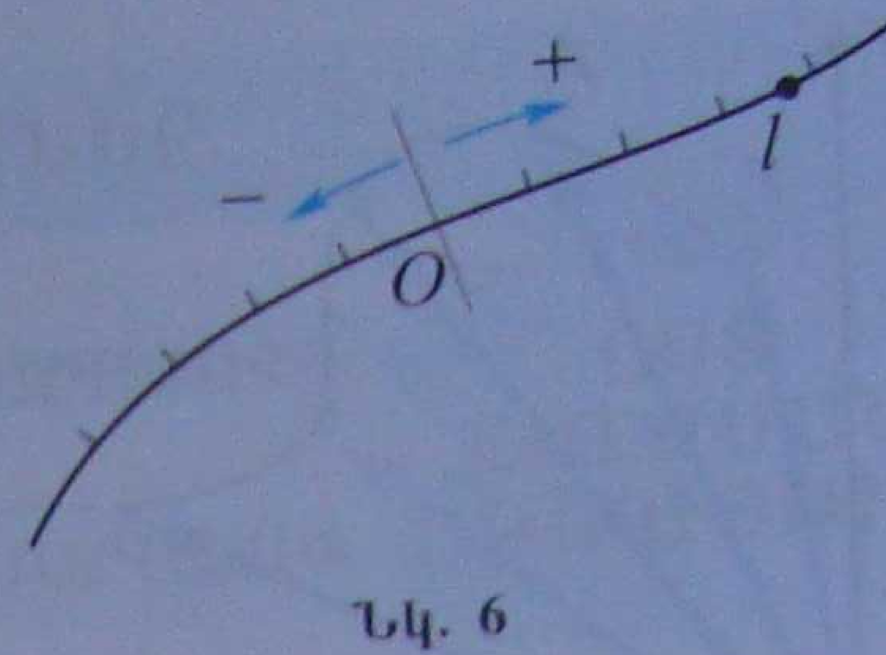
Հետագիծը շարժումն ամբողջությամբ նկարագրող առաջին կարևորագույն բնութագիրն է: Մեխանիկական խնդիրների լուծման կարևոր փուլերից մեկը շարժման հետագծի որոշումն է: Հետագծի տեսքը կախված է այն հաշվարկման համակարգի ընտրությունից, որում դիտարկվում է մարմնի շարժումը: Այսպես, ավտոմեքենայի հետ կապված հաշվարկման համակարգում նրա անվի C կենտրոնը գտնվում է դադարի վիճակում, իսկ B և A կետերի հետագծերը շրջանագծեր են՝ համապատասխանաբար CB և CA շառավիղներով (նկ.5): Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգում C կետի հետագիծն ուղիղ գիծ է, իսկ B և A կետերի հետագծերն ունեն նկ.5-ում պատկերված բարդ տեսքը:

Երբեմն մարմինների շարժման հետագծերը նախապես հայտնի են: Այսպես, երկաթուղին ամբողջությամբ որոշում է գնացքի շարժման հետագիծը, մայրուղին՝ ավտոմեքենայի, գետի հունը՝ շոգենավի և այլն: Այդ պատճառով ընդունված է հետագիծ անվանել նաև այն գիծը, որով պետք է շարժվի մարմինը: Եթե ուշադրություն դարձնեք, ապա մայրուղիների ճամփեզրին կնկատեք սյուներ, որոնց վրա թվեր են գրված: Այդ թվերը ցույց են տալիս մայրուղու սկզբից (սկզբնակետից) մինչև տվյալ սյունը եղած հեռավորությունը, այսինքն՝ տվյալ կետի դիրքը:



Նկ. 5

Այսպիսով՝ նախապես հայտնի հետագծերով շարժումների դեպքում մարմնի դիրքը նշելու համար բավական է հետագծի որևէ O կետ համարել հաշվարկման սկզբնակետ (նկ. 6) և նշել այդ կետի և մարմնի դիրքի միջև l հեռավորությունը՝ հետագծի երկայնքով: Ըստ որում, O կետի մի կողմում ընկած կետերի հեռավորությունները պայմանականորեն կհամարվեն դրական, իսկ հակառակ կողմի կետերի հեռավորությունները՝ բացասական:



Նկ. 6

Սկզբնակետից հետագծի երկայնքով մինչև մարմնի դիրքը եղած l հեռավորությունը, վերցրած համապատասխան նշանով, կոչվում է դիրքաքիվ:

Դիրքաքվի միջոցով մարմնի դիրքը որոշելու եղանակը կոչվում է ***բնական եղանակ***:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում հաշվարկման մարմին:*
2. *Տարածության մեջ մարմնի դիրքը տալու քանի՞ եղանակ կա: Թվարկե՛ք այդ եղանակները:*
3. *Ի՞նչն են անվանում շառավիղ-վեկտոր:*
4. *Ինչի՞ց է կազմված հաշվարկման համակարգը:*
5. *Ի՞նչն են անվանում նյութական կետի շարժման հետագիծ:*
6. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում նյութական կետի դիրքաքիվ:*

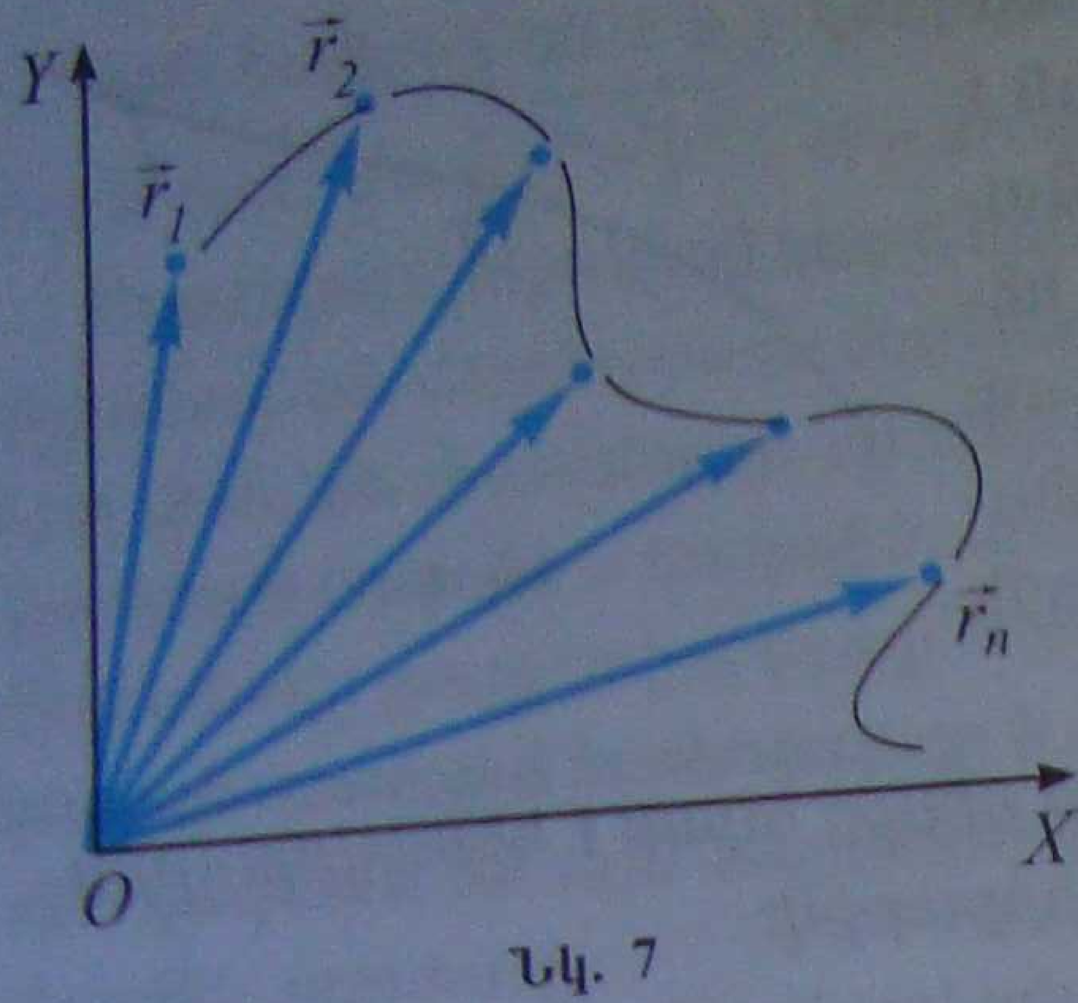
§ 4. Մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումը: Տեղափոխություն: Ճանապարհ: Շարժման օրենք

Մենք ծանոթացանք տարածության մեջ մարմնի դիրքը նշելու երեք՝ վեկտորական, կոորդինատային և բնական եղանակներին: Ժամանակի տվյալ պահին մարմնի դիրքը որոշված է, եթե առաջին դեպքում հայտնի է մարմնի դիրքին համապատասխանող $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորը, երկրորդ դեպքում՝ x, y, z կոորդինատները, երրորդ դեպքում՝ l դիրքաքիվը: Քանի որ մեխանիկայի հիմնական խնդիրը ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի դիրքը որոշելն է, ապա ***լուծել մեխանիկայի հիմնական խնդիրը նշանակում է գտնել մարմնի դիրքը որոշող մեծության*** (շառավիղ-վեկտոր, կոորդինատ կամ դիրքաքիվ) ***կախումը ժամանակից***: Այն բանաձևը, որն արտահայտում է այդ մեծության կախումը ժամանակից, կոչվում է մարմնի ***շարժման օրենք*** կամ ***շարժման հավասարում***: Շարժման օրենքը շարժումն ամբողջապես նկարագրող երկրորդ կարևորագույն բնութագիրն է: Մարմնի դիրքի որոշման վեկտորական և կոորդինատային եղանակների դեպքում շարժման օրենքից կարելի է որոշել մարմնի շարժման հետագիծը:

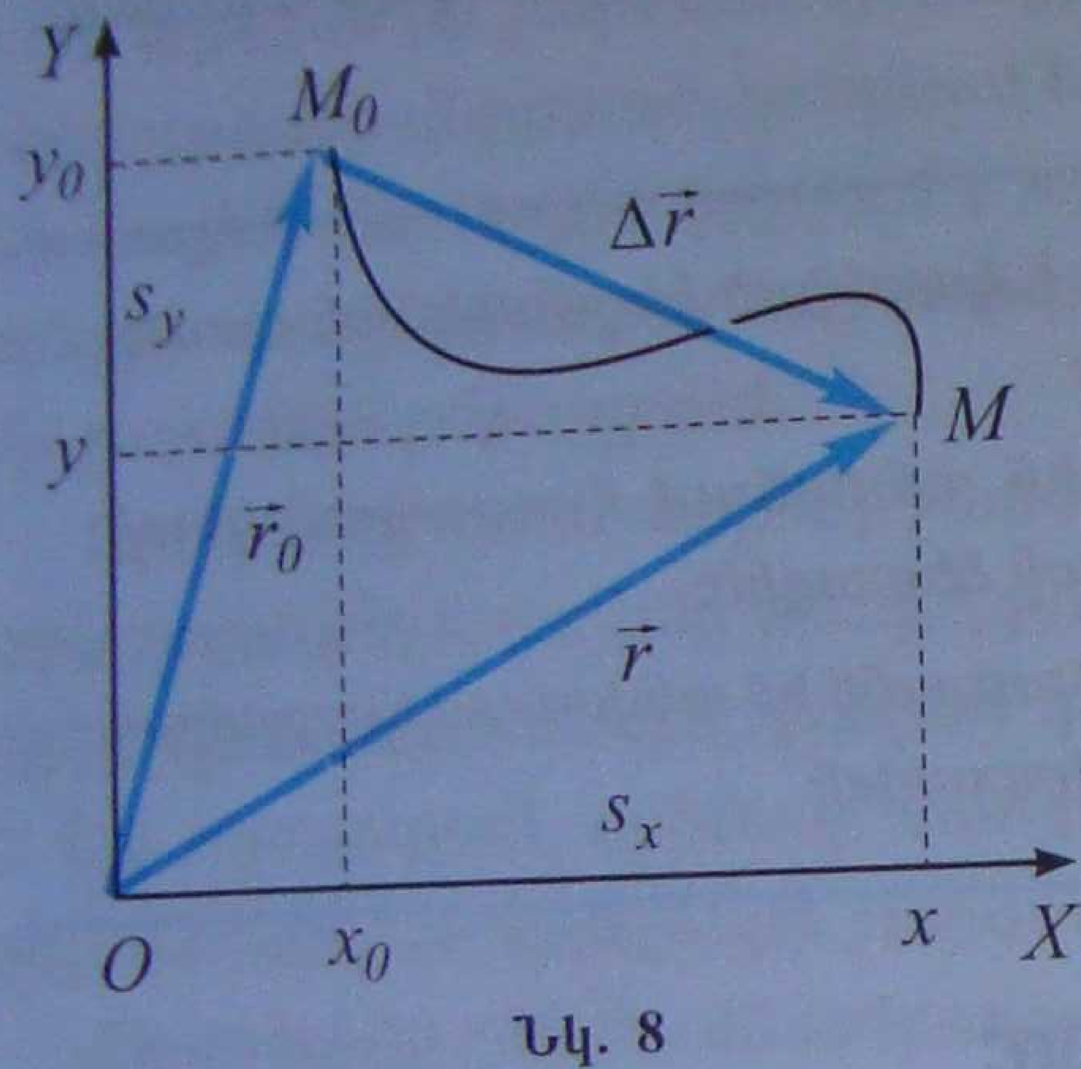
Վեկտորական եղանակի դեպքում հետագիծը ժամանակի տարբեր պահերին պատկերված $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորի ծայրակետերի երկրաչափական տեղն է (նկ. 7):

Կոորդինատային եղանակի դեպքում մարմնի շարժման հետագիծը ստացվում է շարժման հավասարումներից t ժամանակն արտաքսելով:

Յուրաքանչյուր շարժման արդյունքը որոշելու համար հարկավոր է նշել, թե սկզբնական դիրքից որ ուղղությամբ և որքան է տեղափոխվել մարմինը: Այսպես, դիցուք՝ շարժման ընթացքում մարմինը M_0 կետից տեղափոխվել է M կետը (նկ. 8): Պարզ է, որ M_0M



Նկ. 7



Նկ. 8

ուղղորդված հատվածը (վեկտորը), որը մարմնի սկզբնական դիրքը միացնում է վերջնական դիրքին, կարող է դիտվել որպես շարժման հետևանքով կատարված դիրքի փոփոխության չափ: Այն կոչվում է ***տեղափոխության վեկտոր***: Այսպիսով՝ ժամանակի ընթացքում մարմնի դիրքի փոփոխության քանակական բնութագիրը $\Delta\vec{r}$ տեղափոխության վեկտորն է, որը կարճ անվանվում է տեղափոխություն ($\vec{s}$): ***Մարմնի սկզբնական դիրքը վերջնական դիրքին միացնող վեկտորը կոչվում է տեղափոխություն:***

Մարմնի կատարած տեղափոխությունը (նկ. 8) հավասար է նրա շառավիղ-վեկտորի փոփոխությանը.

$$\vec{s} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \Delta\vec{r} : \qquad (1.2)$$

Եթե հայտնի են մարմնի սկզբնական դիրքի շառավիղ-վեկտորը ($\vec{r}_0$) և տեղափոխությունը ($\vec{s}$), ապա, ինչպես երևում է նկ. 8-ից, վերջնական դիրքի շառավիղ-վեկտորը և կոորդինատները կարող ենք որոշել հետևյալ բանաձևերով՝

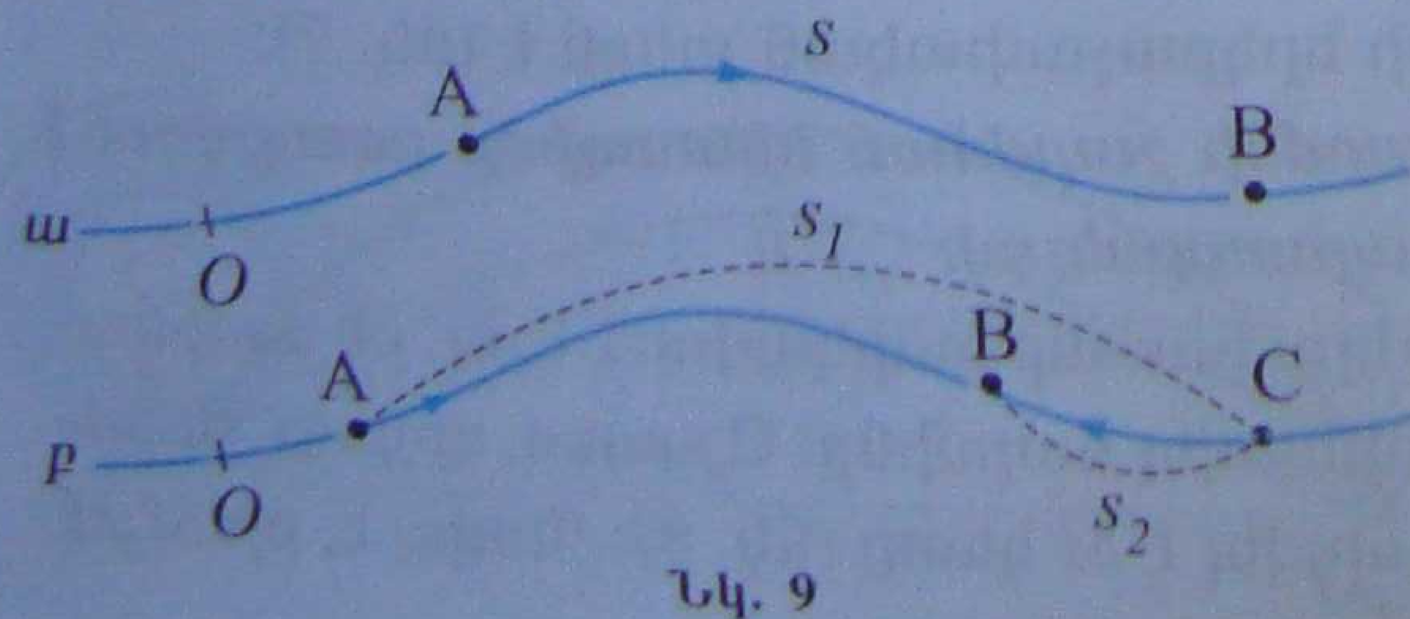
$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{s}\,, \quad x = x_0 + s_x\,, \quad y = y_0 + s_y \ : \qquad (1.3)$$

s_x-ը և s_y-ը տեղափոխության պրոյեկցիաներն են կոորդինատային առանցքների վրա (վեկտորական մեծություններին և նրանց հետ կատարվող գործողություններին մենք մանրամասնորեն կծանոթանանք հաջորդ պարագրաֆում):

Իմանալով ինչ-որ ժամանակամիջոցում տեղափոխության վեկտորը՝ մենք կարող ենք որոշել, թե որտեղ կգտնվի մարմինն այդ ժամանակամիջոցի վերջում:

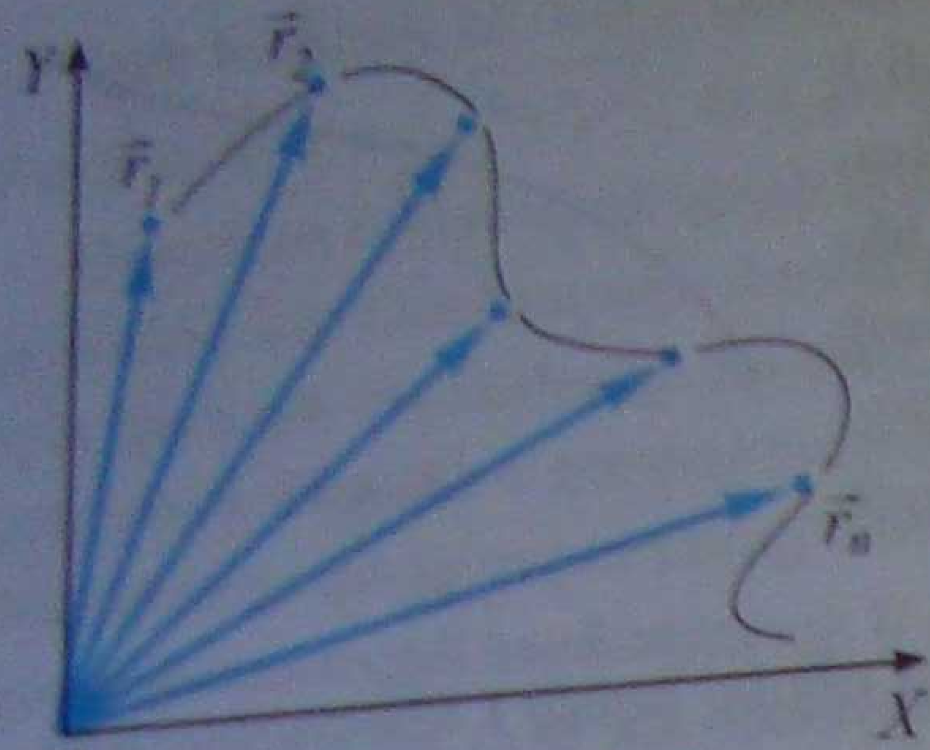
Հետագծի երկայնքով մարմնի անցած հեռավորությունը կոչվում է ճանապարհ:

Եթե դիտարկվող ժամանակահատվածում մարմնի շարժման ուղղությունը չի փոխվում (նկ. 9,*ա*), ապա ճանապարհը հավասար է այդ ժամանակամիջոցում անցած *հետագծի տեղամասի երկարությանը*: Իսկ եթե շարժման ուղղությունը փոխվում է, ապա դիտարկվող ժամանակահատվածը պետք է բաժանել այնպիսի ժամանակահատվածների, որոնց ընթացքում շարժման ուղղությունը մնացել է անփոփոխ, հաշվել մարմնի անցած ճանապարհները այդ ժամանակահատվածներից յուրաքանչյուրում և գումարել բոլոր այդ ճանապարհները: Օրինակ, եթե մարմինը, սկզբում շարժվելով մի ուղղությամբ (նկ. 9,*բ*), A կետից հասել է C կետը՝ անցնելով s_1 ճանապարհ, այնուհետև փոխել է շարժման ուղղությունը և հասել B կետը՝ անցնելով s_2 ճանապարհ, ապա ամբողջ շարժման ընթացքում մարմնի անցած ճանապարհը՝ $s = s_1 + s_2$:



Նկ. 9

Շարժումն ամբողջությամբ նկարագրող բնութագրերը՝ հետագիծը և շարժման օրենքը, տալիս են շարժման ստա-

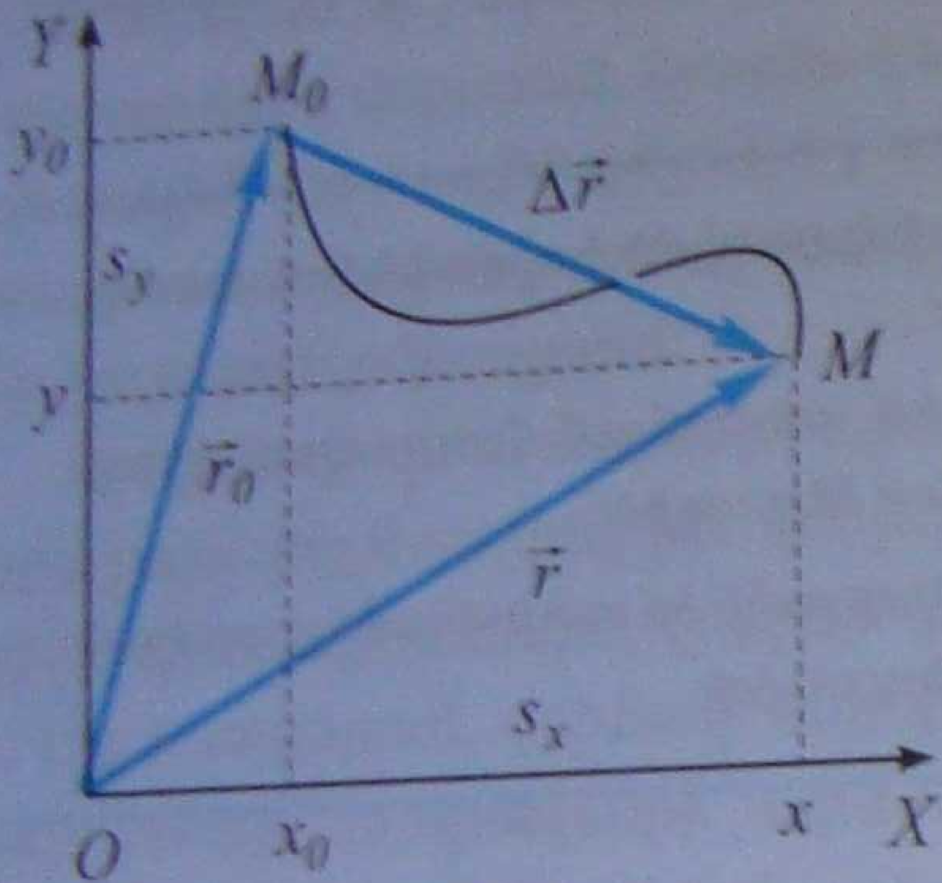


Նկ. 7

ուղղորդված հատվածը (վեկտորը), որը մարմնի սկզբնական դիրքը միացնում է վերջնական դիրքին, կարող է դիտվել որպես շարժման հետևանքով կատարված դիրքի փոփոխության չափ: Այն կոչվում է *տեղափոխության վեկտոր*: Այսպիսով՝ ժամանակի ընթացքում մարմնի դիրքի փոփոխության քանակական բնութագիրը $\Delta\vec{r}$ տեղափոխության վեկտորն է, որը կարճ անվանվում է տեղափոխություն ($\vec{s}$): ***Մարմնի սկզբնական դիրքը վերջնական դիրքին միացնող վեկտորը կոչվում է տեղափոխություն:***

Մարմնի կատարած տեղափոխությունը (նկ. 8) հավասար է նրա շառավիղ-վեկտորի փոփոխությանը.

$$\vec{s}=\vec{r}-\vec{r}_0=\Delta\vec{r}\ : \qquad (1.2)$$



Նկ. 8

Եթե հայտնի են մարմնի սկզբնական դիրքի շառավիղ-վեկտորը ($\vec{r}_0$) և տեղափոխությունը ($\vec{s}$), ապա, ինչպես երևում է նկ. 8-ից, վերջնական դիրքի շառավիղ-վեկտորը և կոորդինատները կարող ենք որոշել հետևյալ բանաձևերով՝

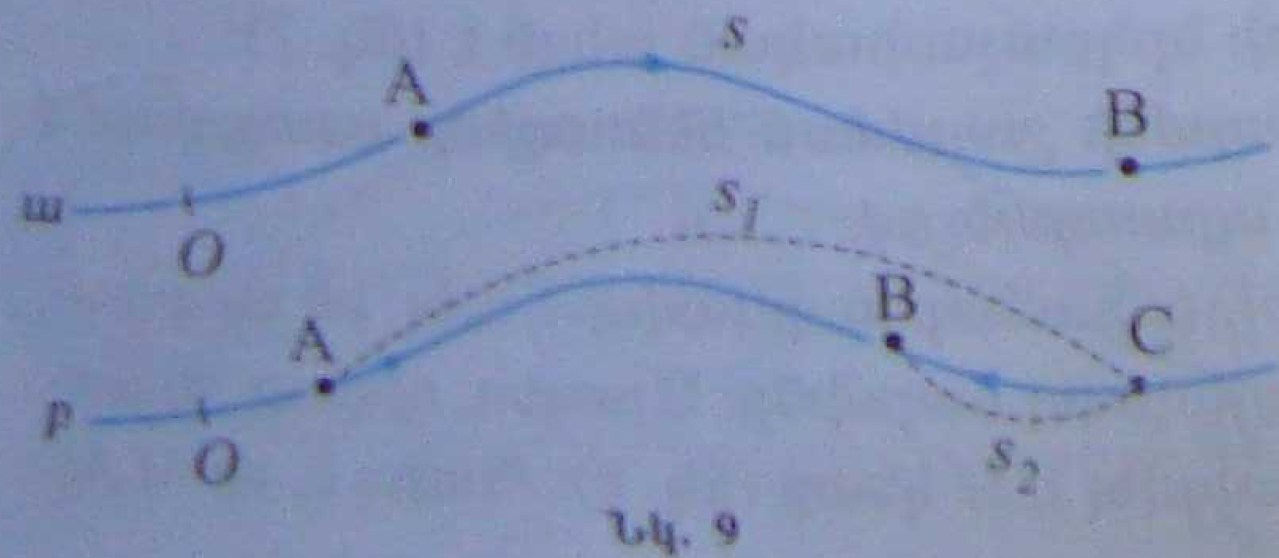
$$\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{s}\ ,\ \ x=x_0+s_x\ ,\ \ y=y_0+s_y\ : \qquad (1.3)$$

s_x-ը և s_y-ը տեղափոխության պրոյեկցիաներն են կոորդինատային առանցքների վրա (վեկտորական մեծություններին և նրանց հետ կատարվող գործողություններին մենք մանրամասնորեն կծանոթանանք հաջորդ պարագրաֆում):

Իմանալով ինչ-որ ժամանակամիջոցում տեղափոխության վեկտորը՝ մենք կարող ենք որոշել, թե որտեղ կգտնվի մարմինն այդ ժամանակամիջոցի վերջում:

Հետագծի երկայնքով մարմնի անցած հեռավորությունը կոչվում է ճանապարհ:

Եթե դիտարկվող ժամանակահատվածում մարմնի շարժման ուղղությունը չի փոխվում (նկ. 9,ա), ապա ճանապարհը հավասար է այդ ժամանակամիջոցում անցած *հետագծի տեղամասի երկարությանը*: Իսկ եթե շարժման ուղղությունը փոխվում է, ապա դիտարկվող ժամանակահատվածը պետք է բաժանել այնպիսի ժամանակահատվածների, որոնց ընթացքում շարժման ուղղությունը մնացել է անփոփոխ, հաշվել մարմնի անցած ճանապարհները այդ ժամանակահատվածներից յուրաքանչյուրում և գումարել բոլոր այդ ճանապարհները: Օրինակ, եթե մարմինը, սկզբում շարժվելով մի ուղղությամբ (նկ. 9,բ), A կետից հասել է C կետը՝ անցնելով s_1 ճանապարհ, այնուհետև փոխել է շարժման ուղղությունը և հասել B կետը՝ անցնելով s_2 ճանապարհ, ապա ամբողջ շարժման ընթացքում մարմնի անցած ճանապարհը՝ $s=s_1+s_2$:



Նկ. 9

Շարժումն ամբողջությամբ նկարագրող բնութագրերը՝ հետագիծը և շարժման օրենքը, տալիս են շարժման սպա-

МЕХАНИКАКАН ШАРЖУМНЕР

ԸՍՏ ՀԵՏԱԳԾԻ ՁԵՎԻ — ՈՒՂՂԱԳԻԾ / ԿՈՐԱԳԻԾ

ԸՍՏ ՇԱՐԺՄԱՆ ԲՆՈՒՅԹԻ — ՀԱՎԱՍԱՐԱՉԱՓ / ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱՉԱՓ

Նկ. 10

ռիչ պատկերը և թույլ են տալիս դատել շարժման բոլոր առանձնահատկությունների մասին: Շարժումների դասակարգումն ըստ հետագծի և ըստ շարժման օրենքի ներկայացված է նկ. 10-ում:

Ըստ հետագծի ձևի` ամենապարզ շարժումն ուղղագիծ շարժումն է: ***Շարժումը կոչվում է ուղղագիծ, եթե շարժման հետագիծն ուղիղ գիծ է:*** Ուղղագծորեն են շարժվում, օրինակ` մետրոյի շարժասանդուղքի վրա կանգնած ուղևորը, բռիչքուղի դուրս եկած ինքնաթիռը, վերելակի խցիկն ու ճոպանուղու վագոնը և այլն: Թեև ուղղագիծ շարժումներ գործնականում քիչ են հանդիպում, բայց դրանց ուսումնասիրությունը կարևոր նշանակություն ունի:

Շարժումը կոչվում է կորագիծ, եթե շարժման հետագիծը որևէ կոր գիծ է, օրինակ` շրջանագիծ, պարաբոլ և այլն: Մարմնի հետագծի տեսքը սովորաբար տրվում է կամ գծագրի օգնությամբ, կամ մաթեմատիկական բանաձևերի միջոցով:

Ըստ բնույթի շարժումները լինում են ***հավասարաչափ*** և ***անհավասարաչափ***: Դրանց սահմանումները մենք կձևակերպենք հաջորդ գլխում, որտեղ հավասարաչափ շարժումներից կուսումնասիրենք ուղղագիծ և շրջանագծային շարժումները, իսկ անհավասարաչափ շարժումներից մանրամասնորեն կուսումնասիրենք միայն հավասարաչափ արագացող շարժումները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է նշանակում «լուծել մեխանիկայի հիմնական խնդիրը» արտահայտությունը:*
2. *Որո՞նք են շարժումն ամբողջությամբ բնութագրող հիմնական բնութագրերը:*
3. *Ինչպե՞ս են որոշում մարմնի շարժման հետագծի տեսքը նրա դիրքի որոշման վեկտորական և կոորդինատային եղանակների դեպքերում:*
4. *Ի՞նչն են անվանում տեղափոխություն:*
5. *Ի՞նչն են անվանում ճանապարհ:*
6. *Ո՞ր դեպքում է մարմնի անցած ճանապարհը հավասար նրա տեղափոխության մոդուլին:*
7. *Կարո՞ղ է արդյոք տեղափոխության մոդուլը փոքր լինել որևէ կոորդինատային առանցքի վրա նրա պրոյեկցիայի մոդուլից:*

§ 5. Վեկտորական մեծությունների մասին

Ֆիզիկայում օգտագործվում են տարբեր բնույթի մեծություններ:

Սկալյար մեծություններ կամ ***սկալյարներ*** կոչվում են այն ֆիզիկական մեծությունները, որոնք բնութագրվում են միայն թվային արժեքով` արտահայտված համապատասխան միավորով: Այդպիսի մեծությունների օրինակներ են` ծավալը ու ջերմաստի-

ճանը, ժամանակն ու երկարությունը, զանգվածը, էներգիան և այլն: Սկալյարների հետ կատարվող գործողությունները մաթեմատիկայի դասընթացից հայտնի հանրահաշվական գործողություններն են՝ գումարումը, հանումը, բազմապատկումը, բաժանումը, աստիճան բարձրացնելը, արմատ հանելը, լոգարիթմելը և այլն:

Այն ֆիզիկական մեծությունները, որոնք բնութագրվում են ոչ միայն թվային արժեքով, այլև ուղղությամբ, կոչվում են վեկտորական մեծություններ կամ ***վեկտորներ***: Օրինակ, «տեղափոխություն» մեծության մասին, բացի թվային արժեքից, պետք է իմանալ նաև, թե դեպի ուր է այն ուղղված: Վեկտորական մեծությունը պատկերում են այնպիսի հատվածի տեսքով, որի ծայրակետերից մեկը համարվում է սկզբնակետ (կամ սկիզբ), իսկ մյուսը, որը նշվում է սլաքով՝ վերջնակետ (կամ վերջ): Այդպիսի հատվածը կոչվում է ուղղորդված հատված կամ վեկտոր: Ուղղորդված հատվածի երկարությունը ընտրված մասշտաբով արտահայտում է վեկտորական մեծության մոդուլը, որը նույնպես սկալյար է: Վեկտորները նշանակում են տառերով, որոնց վերևում սլաք է դրվում: Օրինակ՝ տեղափոխության վեկտորը նշանակվում է $\vec{s}$ տառով: Նույն տառով, սակայն առանց սլաքի, նշանակում են վեկտորի մոդուլը՝ $|\vec{s}| = s$:

Հավասար կոչվում են այն վեկտորները, որոնք համուղղված են և որոնց մոդուլները հավասար են:

Վեկտորական հանրահաշվում դիտարկվում են վեկտորների հետ կատարվող տարբեր գործողություններ: Համառոտակի ծանոթանանք վեկտորական հանրահաշվի մի քանի գործողություններ, որոնք կօգտագործենք հետագայում:

Վեկտորների գումարումը: $\vec{a}$ ***և*** $\vec{b}$ ***վեկտորների վեկտորական (կամ երկրաչափական) գումար կոչվում է այն*** $\vec{c}$ ***վեկտորը, որը*** $\vec{a}$ ***և*** $\vec{b}$ ***գումարելի վեկտորներով կառուցված զուգահեռագծի անկյունագիծն է, որ ելնում է նրանց ընդհանուր սկզբնակետից*** (նկ. 11,*ա*)*:* Գումար վեկտորը գտնելու այս եղանակը հայտնի է ***«զուգահեռագծի կանոն»*** անունով:

$\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորները զուգահեռագծի կանոնով գումարելու համար պետք է դրանք բերել (առանց փոխելու ուղղությունները) մեկ կետի, այն է՝ համընկեցնել վեկտորների սկզբնակետերը, այնուհետև այդ վեկտորների վրա կառուցել զուգահեռագիծ և վերցնել գումարվող վեկտորների հետ նույն սկզբնակետն ունեցող անկյունագիծը:

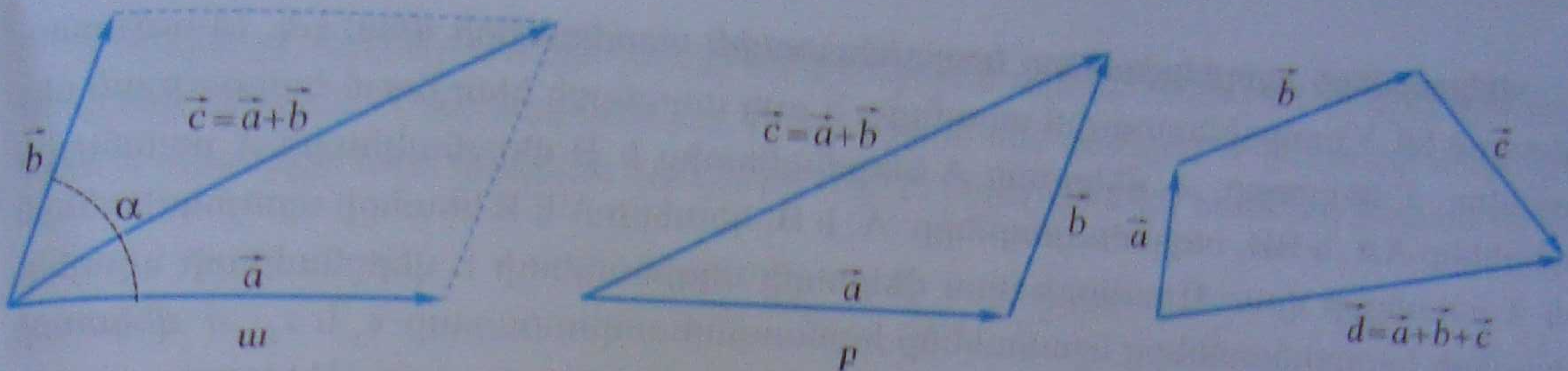
Վեկտորների գումարը կարելի է ստանալ նաև ***եռանկյան կանոնով***: Եթե $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորները զուգահեռ տեղափոխենք այնպես, որ $\vec{b}$ վեկտորի սկզբնակետը համընկնի $\vec{a}$ վեկտորի վերջնակետին, ապա $\vec{a}$ վեկտորի սկզբնակետը $\vec{b}$ վեկտորի վերջնակետին միացնող $\vec{c}$ վեկտորը (նկ. 11,*բ*) կլինի $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$ վեկտորական գումարը:

Նույն կերպ կարող ենք վարվել երկուսից ավելի վեկտորներ գումարելիս: Դրա համար անհրաժեշտ է գումարելի վեկտորները զուգահեռ տեղափոխել այնպես, որ հաջորդ վեկտորի սկզբնակետը համընկնի նախորդ վեկտորի վերջնակետին: Ստացված բեկյալը փակող վեկտորը, որն առաջին գումարելի վեկտորի սկզբնակետը միացնում է վերջին գումարելի վեկտորի վերջնակետին, կլինի տրված վեկտորների գումարը (նկ.12):

Երկու վեկտորների գումարի մոդուլը կարելի է որոշել կոսինուսների թեորեմից.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos\alpha}\,, \qquad (1.4)$$

որտեղ α-ն $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորներով կազմված անկյունն է:



Նկ. 11

Նկ. 12

(1.4) բանաձևից հետևում է, որ $\vec{c}$ վեկտորի երկարությունը կախված է ինչպես $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորների մոդուլներից, այնպես էլ այդ վեկտորների կազմած α անկյան արժեքից: Համաձայն (1.4) բանաձևի՝ $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորների գումարն ունի առավելագույն մոդուլ, երբ $\alpha = 0°$ ($\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորները համուղղված են)՝

$$c=\sqrt{a^2+b^2+2ab}=a+b, \qquad (1.5)$$

և նվազագույնն է, երբ $\alpha = 180°$ ($\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորները հակուղղված են)՝

$$c=\sqrt{a^2+b^2-2ab}=|a-b|: \qquad (1.6)$$

Երբ $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորների կազմած անկյունը փոփոխվում է $0 \le \alpha \le 180°$ տիրույթում, $\vec{c}$ գումար վեկտորի մոդուլը փոփոխվում է

$$|a-b| \le c \le a+b \qquad (1.7)$$

տիրույթում: Մասնավորապես, երբ $|\vec{a}|=|\vec{b}|=a$, $0 \le c \le 2a$:

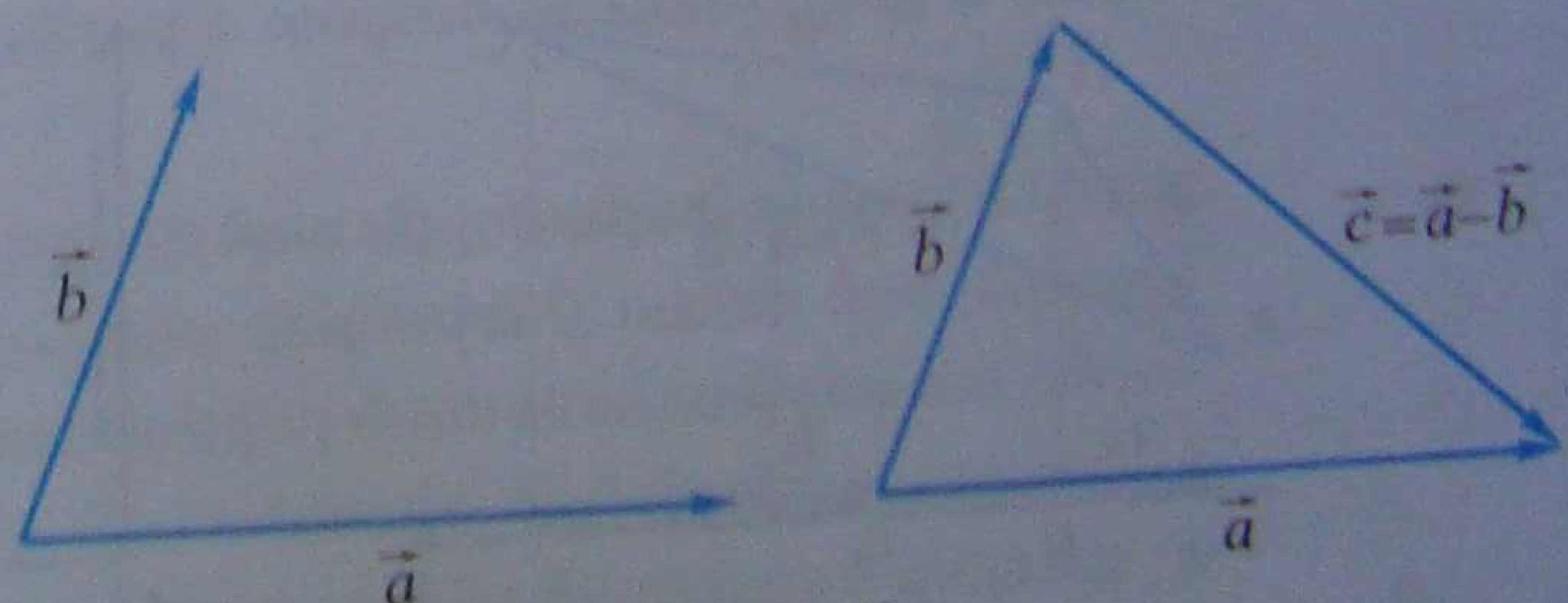
Վեկտորի բազմապատկումը սկալյարով: $\vec{a}$ վեկտորի և p սկալյարի արտադրյալը այն $\vec{c}$ վեկտորն է, որի մոդուլը հավասար է արտադրիչների մոդուլների արտադրյալին, իսկ ուղղությունը համընկնում է $\vec{a}$ վեկտորի ուղղության հետ, եթե p-ն դրական է, և $\vec{a}$ վեկտորի հակադիր ուղղության հետ, եթե p-ն բացասական է.

$$\vec{c}=p\vec{a}, \text{ որտեղ } c=|p|a: \qquad (1.8)$$

Երբ $p=-1$, ապա $\vec{c}$ վեկտորը մոդուլով հավասար է $\vec{a}$ վեկտորին և ուղղված է նրա հակադիր ուղղությամբ: ***$\vec{a}$ և $-\vec{a}$ վեկտորները կոչվում են հակադիր***:

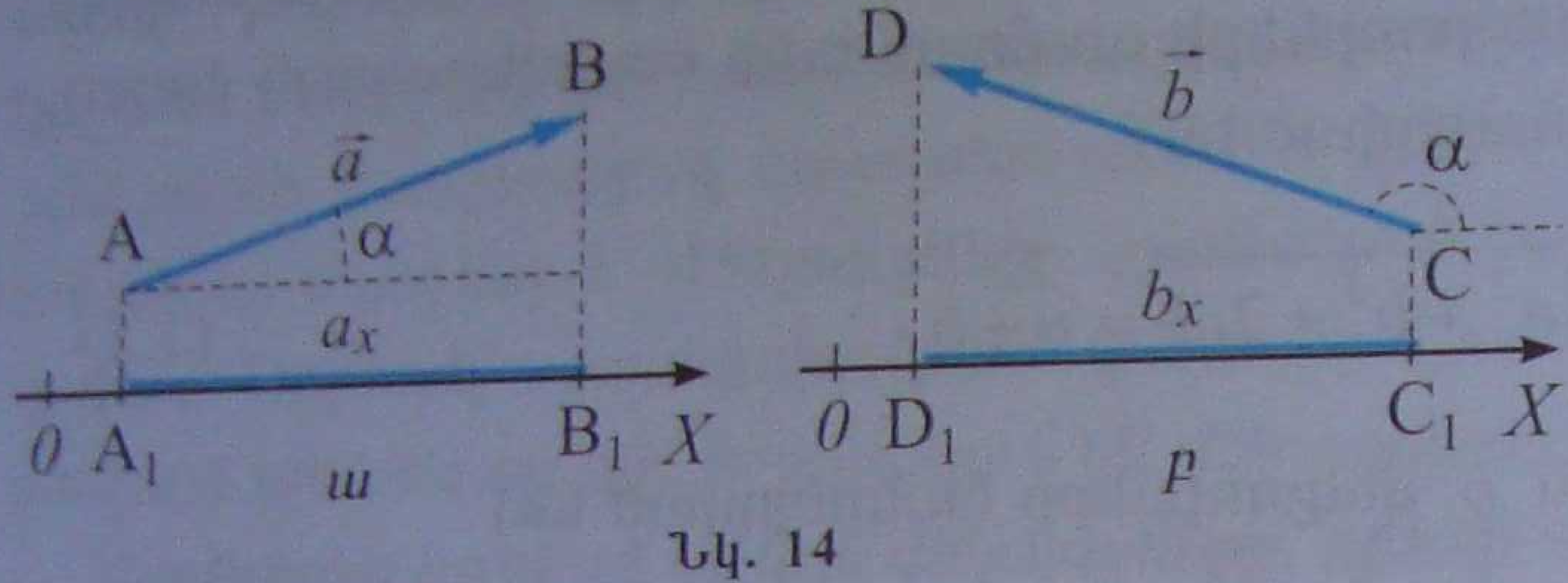
Վեկտորների հանումը: $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորների տարբերությունը որոշելու համար $\vec{a}$ վեկտորին գումարում են $\vec{b}$ վեկտորի հակադիր վեկտորը՝ $\vec{a}-\vec{b}=\vec{a}+(-\vec{b})$:

Երկու վեկտորների տարբերությունը գտնելու համար անհրաժեշտ է վեկտորները զուգահեռ տեղափոխել այնպես, որ երկուսն էլ սկսվեն նույն կետից: Հետո վեկտորների ծայրերը պետք է միացնել մեկ այլ վեկտորով, որն ուղղված լինի հանելիից դեպի նվազելին (նկ. 13):



Նկ. 13

Վեկտորների պրոյեկցիաները կոորդինատային առանցքների վրա: Նկ. 14-ում պատկերված են X կոորդինատային առանցքը և այդ առանցքի հետ նույն հարթության մեջ գտնվող $\vec{a}$ վեկտորը: $\vec{a}$ վեկտորի A սկզբնակետից և B վերջնակետից X առանցքին իջեցնենք AA_1 և BB_1 ուղղահայացները: A_1 և B_1 կետերը A և B կետերի պրոյեկցիաներն են X առանցքի վրա: Առանցքի վրա վեկտորի սկզբնակետի և վերջնակետի պրոյեկցիաների կոորդինատները նշանակենք համապատասխանաբար x_A և x_B: $\vec{a}$ ***վեկտորի պրոյեկցիա X առանցքի վրա անվանում են $x_B - x_A$ տարբերությունը***: Վեկտորի պրոյեկցիան առանցքի վրա նշանակում են նույն տառով, ինչ որ վեկտորի մոդուլը՝ ներքևում առանցքի պայմանանշանով, օրինակ՝ a_x:

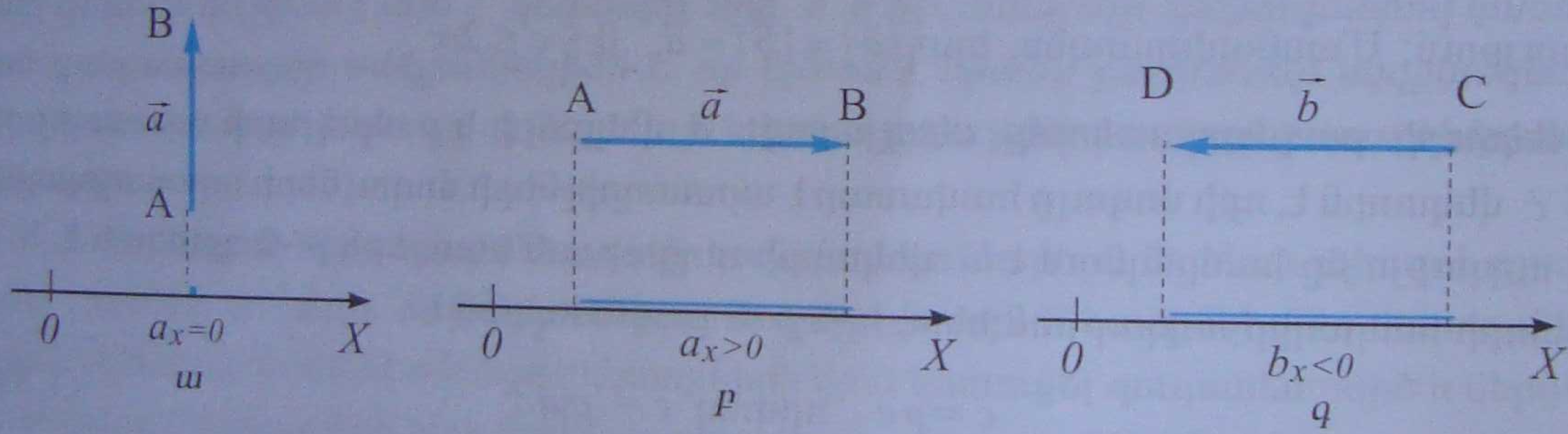


Նկ. 14

Ինչպես երևում է նկ. 14-ից, վեկտորի պրոյեկցիան կարելի է արտահայտել վեկտորի մոդուլի և վեկտորի՝ առանցքի հետ կազմած α անկյան միջոցով՝

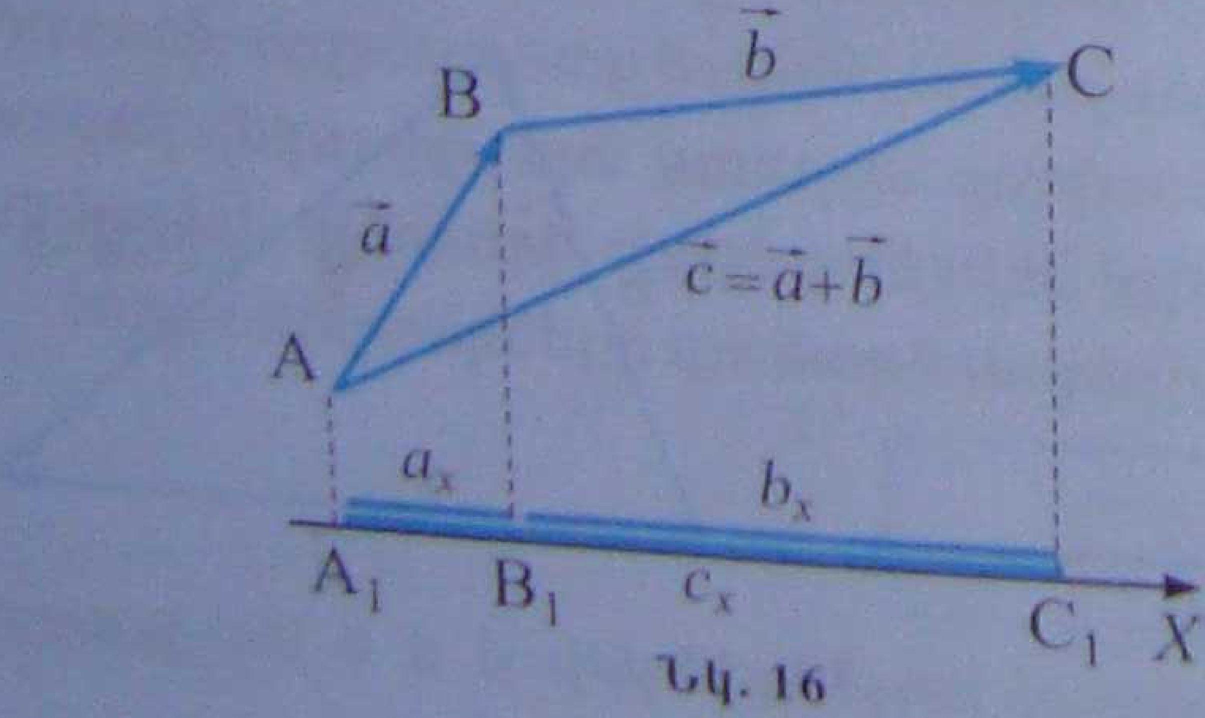
$$a_x = a\cos\alpha: \qquad (1.10)$$

Եթե անկյունը սուր է, վեկտորի պրոյեկցիան դրական է (նկ. 14,*ա*), եթե բութ է՝ բացասական (նկ. 14,*բ*): Եթե վեկտորն ուղղահայաց է առանցքին, ապա նրա պրոյեկցիան հավասար է զրոյի (նկ. 15,*ա*): Երբ վեկտորը համուղղված է առանցքին (նկ. 15,*բ*), նրա պրոյեկցիան հավասար է վեկտորի մոդուլին, եթե հակուղղված է (նկ. 15,*գ*), ապա նրա պրոյեկցիան հավասար է մոդուլին՝ հակառակ նշանով:

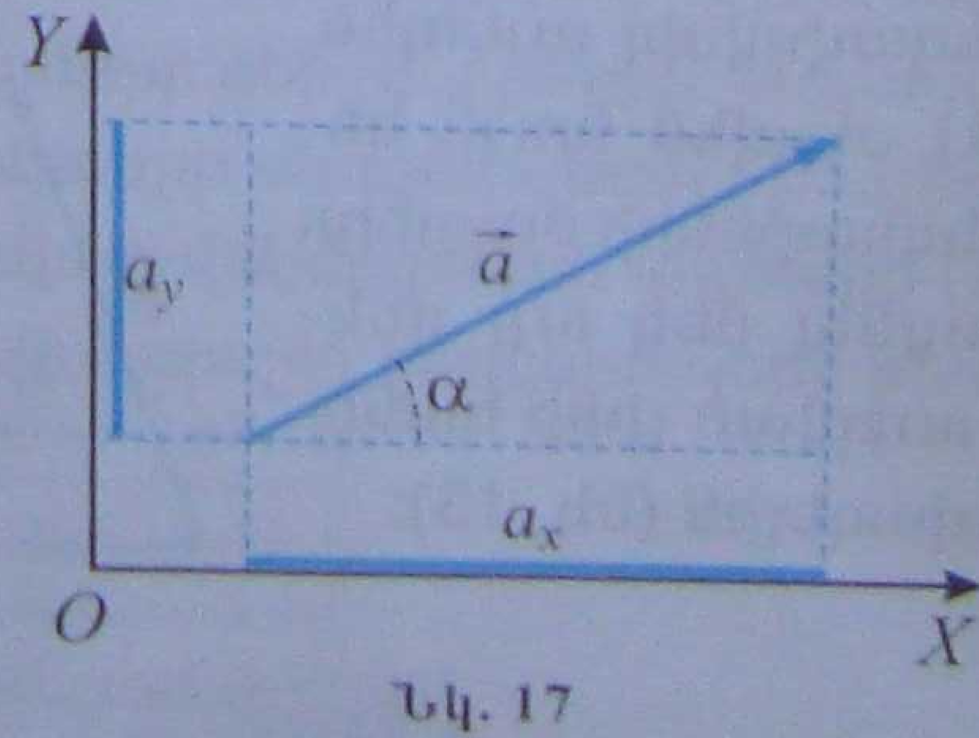


Նկ. 15

Վեկտորների գումարի և տարբերության պրոյեկցիան: Նկ. 16-ում պատկերված են $\vec{a}$ և $\vec{b}$ վեկտորները և նրանց գումարը՝ $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$: Պատկերված են նաև այդ երեք վեկտորների պրոյեկցիաները X առանցքի վրա: Սահմանումից հետևում է, որ $a_x = x_B - x_A$, $b_x = x_C - x_B$, իսկ $c_x = x_C - x_A = (x_C - x_B) + (x_B - x_A) = a_x + b_x$, այսինքն՝ ***երկու վեկտորների գումարի պրոյեկցիան հավասար է այդ վեկտորների պրոյեկցիաների գումարին***:



Նկ. 16



Նկ. 17

$\vec{a}$ վեկտորի մոդուլը և ուղղությունը միարժեքորեն արտահայտվում են նրա պրոյեկցիաների միջոցով: Մասնավորապես, հարթության մեջ գտնվող $\vec{a}$ վեկտորի մոդուլը և նրա՝ X առանցքի հետ կազմած անկյունը (նկ. 17) որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}\,,\quad tg\alpha=\frac{a_y}{a_x}: \qquad (1.11)$$

Երկու վեկտորների սկալյար արտադրյալը: Երկու վեկտորների սկալյար արտադրյալը թիվ է (սկալյար), որը հավասար է այդ վեկտորների մոդուլների արտադրյալին՝ բազմապատկած նրանցով կազմված անկյան կոսինուսով.

$$\vec{a}\cdot\vec{b}=ab\cos\alpha: \qquad (1.12)$$

Սահմանումից հետևում է, որ սկալյար արտադրյալը հանրահաշվական մեծություն է: Նրա նշանը կախված է արտադրիչ վեկտորներով կազմված անկյունից: Եթե անկյունը սուր է, սկալյար արտադրյալը դրական է, եթե բութ է՝ բացասական: Փոխուղղահայաց վեկտորների սկալյար արտադրյալը հավասար է զրոյի:

Եթե երկու վեկտորներ դասավորված են մեկ, օրինակ՝ X առանցքի երկայնքով, ապա համաձայն (1.12) բանաձևի՝ դրանց սկալյար արտադրյալը հավասար է՝

$$\vec{a}\cdot\vec{b}=a_x b_x: \qquad (1.13)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծությունն է կոչվում սկալյար:*
2. *Ի՞նչն են անվանում երկու վեկտորների երկրաչափական գումար:*
3. *Ինչի՞ է հավասար համուղղված վեկտորների գումարի մոդուլը:*
4. *Ինչի՞ է հավասար հակուղղված վեկտորների գումարի մոդուլը:*
5. *Վեկտորի պրոյեկցիան արտահայտե՛ք նրա ծայրակետերի կոորդինատների միջոցով:*
6. *Վեկտորի պրոյեկցիան արտահայտե՛ք նրա մոդուլի և վեկտորի՝ առանցքի հետ կազմած անկյան միջոցով:*
7. *Ինչի՞ է հավասար երկու վեկտորների գումարի պրոյեկցիան:*
8. *Ինչի՞ է հավասար երկու վեկտորների տարբերության պրոյեկցիան:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ



1. *3 մ բարձրությունից ընկնող գնդակը, ետ թռչելով հատակից, հասնում է 1,5 մ բարձրության: Գտնել գնդակի անցած ճանապարհը և տեղափոխության մոդուլը:*

Լուծում: Գնդակի տեղափոխությունը նրա սկզբնական դիրքը (A կետը) վերջնական դիրքին (C կետին) միացնող վեկտորն է, ուստի նրա մոդուլը՝ $|\vec{s}|=|AC|=|AB|-|BC|=1,5$ մ: Երբ դիտարկվող ժամանակամիջոցում գնդակը փոխում է շարժման ուղղությունը, ճանապարհի հաշվարկը կատարվում է առանձին ժամանակամիջոցների համար, որոնց ընթացքում գնդակը չի

փոխել շարժման ուղղությունը: A կետից B կետ շարժվելիս գնդակն անցնում է $s_1 = |AB| = 3$ մ ճանապարհ: B-ից C շարժվելիս այն անցնում է ևս $s_2 = |BC| = 1,5$ մ ճանապարհ: Ամբողջ շարժման ընթացքում գնդակի անցած ճանապարհը հավասար է՝ $s = s_1 + s_2 = 4,5$ մ:

2. ***Նյութական կետի շարժումը նկարագրվում է $x = at$ և $y = a^2t^2$ հավասարումներով, որտեղ a-ն հաստատուն մեծություն է: Ստանալ հետագծի հավասարումը: Ի՞նչ տեսք ունի այն:***

Լուծում: Մարմնի շարժման հետագիծը ստացվում է շարժման հավասարումներից t ժամանակն արտաքսելով: Առաջին հավասարումից՝ $t = x/a$: Տեղադրելով երկրորդ հավասարման մեջ՝ կստանանք՝ $y = x^2$: Հետագիծը ստացված ֆունկցիայի գրաֆիկն է: Տվյալ դեպքում հետագիծը պարաբոլ է, որի գագաթը գտնվում է կոորդինատների սկզբնակետում, ճյուղերն ուղղված են Y առանցքի ուղղությամբ:

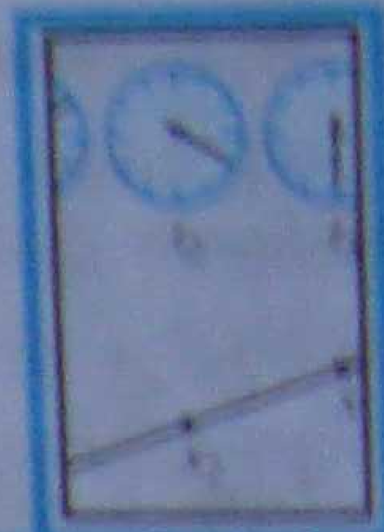
ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1. *Շոգենավը հարավային ուղղությամբ անցավ 450 մ, այնուհետև արևմտյան ուղղությամբ՝ 600 մ: Շոգենավի անցած ճանապարհը քանի՞ մետրով է մեծ նրա տեղափոխության մոդուլից:*
2. *Գնդակն ընկավ 10 մ բարձրությունից, հատակից ետ թռավ և բռնվեց 5 մ բարձրության վրա: Գնդակի անցած ճանապարհը քանի՞ անգամ է մեծ նրա կատարած տեղափոխության մոդուլից:*
3. *Մարմինը հավասարաչափ պտտվում է 10 մ շառավիղ ունեցող շրջանագծով: Հաշվել մարմնի անցած ճանապարհը և նրա կատարած տեղափոխության մոդուլը քառորդ պարբերությունից հետո:*
4. *Ավտոմեքենան շրջադարձ կատարելիս գծում է կիսաշրջանագիծ: Ավտոմեքենայի անցած ճանապարհը քանի՞ անգամ է մեծ այդ նույն ժամանակում նրա կատարած տեղափոխության մոդուլից:*
5. *Նյութական կետի շարժումը նկարագրվում է $x = 2t$ և $y = 8t$ հավասարումներով: Ի՞նչ տեսք ունի նրա շարժման հետագիծը:*
6. *Մարմինը $M_0(x_0, y_0)$ կետից տեղափոխվեց $M(x, y)$ կետը: Ինչի՞ է հավասար տեղափոխության մոդուլը՝ արտահայտված M_0 և M կետերի կոորդինատներով:*

ԳԼՈՒԽ 1-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Աշխարհում գոյություն ունեցող ամեն ինչ, որ ազդում է կամ հատուկ սարքերի միջոցով կարող է ազդել մեր զգայարանների վրա, գիտության մեջ ընդունված է անվանել մեկ բառով՝ մատերիա:
2. Մատերիայի հիմնական հատկություններից մեկը շարժումն է՝ նրա հավերժական փոփոխությունը: Շարժման պարզագույն տեսակը մեխանիկական շարժումն է, այսինքն՝ տարածության մեջ ժամանակի ընթացքում մարմնի դիրքի փոփոխությունն այլ մարմինների նկատմամբ կամ մարմնի մասերի դիրքերի փոփոխությունը միմյանց նկատմամբ:
3. Ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի դիրքը որոշելու համար պետք է իմանալ նրա սկզբնական դիրքը և տեղափոխության վեկտորը:
4. Մեխանիկական շարժման սպառիչ պատկերը տալիս են նրա հետագիծը և շարժման օրենքը:

2 ՈՒՂՂԱԳԻԾ ՀԱՎԱՍԱՐԱՉԱՓ ՇԱՐԺՈՒՄ



§ 6. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում: Հավասարաչափ շարժման արագություն

Մեխանիկական շարժումների` ըստ հետագծի տեսքի և շարժման բնույթի դասակարգման սխեմայում շարժման ամենապարզ տեսակն ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումն է, որովհետև այս շարժման ժամանակ և հետագծի տեսքն է պարզագույնը, և շարժման օրենքը:

Այն շարժումը, որի ընթացքում մարմինը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում կատարում է միատեսակ տեղափոխություններ, կոչվում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում:

Ինչպես գիտենք, ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի դիրքը գտնելու համար պետք է իմանալ տեղափոխության վեկտորի կախումը ժամանակից: Իսկ ինչպե՞ս գտնել տեղափոխության վեկտորը:

Դիցուք` հավասարաչափ շարժվող մարմինը $\Delta t_1$ ժամանակամիջոցում կատարել է $\Delta\vec{s}_1$ տեղափոխություն, $\Delta t_2$-ում` $\Delta\vec{s}_2$, ... , Δt_n-ում` $\Delta\vec{s}_n$: Հավասարաչափ շարժման սահմանումից հետևում է, որ եթե $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n$, ապա $\Delta\vec{s}_1 = \Delta\vec{s}_2 = \dots = \Delta\vec{s}_n$: Ավելին, քանի որ $\Delta\vec{s}_1/\Delta t_1$, $\Delta\vec{s}_2/\Delta t_2$ և այլ հարաբերություններն իրենցից ներկայացնում են միևնույն` ***միավոր ժամանակում*** մարմնի կատարած տեղափոխությունները, ապա`

$$\frac{\Delta\vec{s}_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta\vec{s}_2}{\Delta t_2} = \dots = \frac{\Delta\vec{s}_n}{\Delta t_n} = const \,: \qquad (2.1)$$

Այսպիսով` հավասարաչափ շարժման սահմանումից բխում է, որ Δt ժամանակում մարմնի կատարած $\Delta\vec{s}$ տեղափոխության և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությունը շարժման ընթացքում մնում է հաստատուն: Այն ցույց է տալիս մարմնի կատարած տեղափոխությունը միավոր ժամանակում և կոչվում է ***ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագություն***: Քանի որ տեղափոխությունը վեկտորական մեծություն է, ժամանակը` սկալյար, իսկ վեկտորը սկալյարով բազմապատկելիս ստացվում է վեկտոր, ապա ***արագությունը վեկտորական մեծություն է***: Սա նշանակում է, որ, ինչպես և ամեն մի վեկտոր, արագությունն ունի ուղղություն և մոդուլ, ընդ որում, արագության ուղղությունը համընկնում է մարմնի տեղափոխության ուղղության հետ: Մարմնի արագությունը կարելի է իմանալ` չափելով ճանապարհի ցանկացած տեղամաս, նույնիսկ ամենափոքրը, և այն ժամանակամիջոցը, որի ընթացքում մարմինն անցել է այդ տեղամասը:

Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագություն կոչվում է այն ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է ցանկացած ժամանակամիջոցում մարմնի կատարած տեղափոխության և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությանը:

Եթե t ժամանակամիջոցում մարմնի կատարած տեղափոխությունը նշանակենք $\vec{s}$ -ով, ապա շարժման արագությունը`

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} : \quad (2.2)$$

Եթե $\vec{v}$ արագությունը հայտնի է, ապա t ժամանակում կատարված $\vec{s}$ տեղափոխությունը կարտահայտվի հետևյալ հավասարությամբ`

$$\vec{s} = \vec{v}t : \quad (2.3)$$

Այսպիսով` ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումը` մարմնի շարժման օրենքը, վեկտորական ներկայացմամբ ունի հետևյալ տեսքը`

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{s} = \vec{r}_0 + \vec{v}t , \quad (2.4)$$

որտեղ $\vec{r}_0$ -ն մարմնի շառավիղ-վեկտորն է շարժման սկզբում ($t = 0$ պահին), իսկ $\vec{r}$ -ը` t պահին:

Արագության մոդուլը և ճանապարհը: Արագության v մոդուլը գտնելու համար արագության (2.2) բանաձևը պետք է գրել սկալյար տեսքով, այսինքն` արտահայտել բանաձևի մեջ մտնող ֆիզիկական մեծությունների մոդուլներով.

$$v = \frac{|\vec{s}|}{t} : \quad (2.5)$$

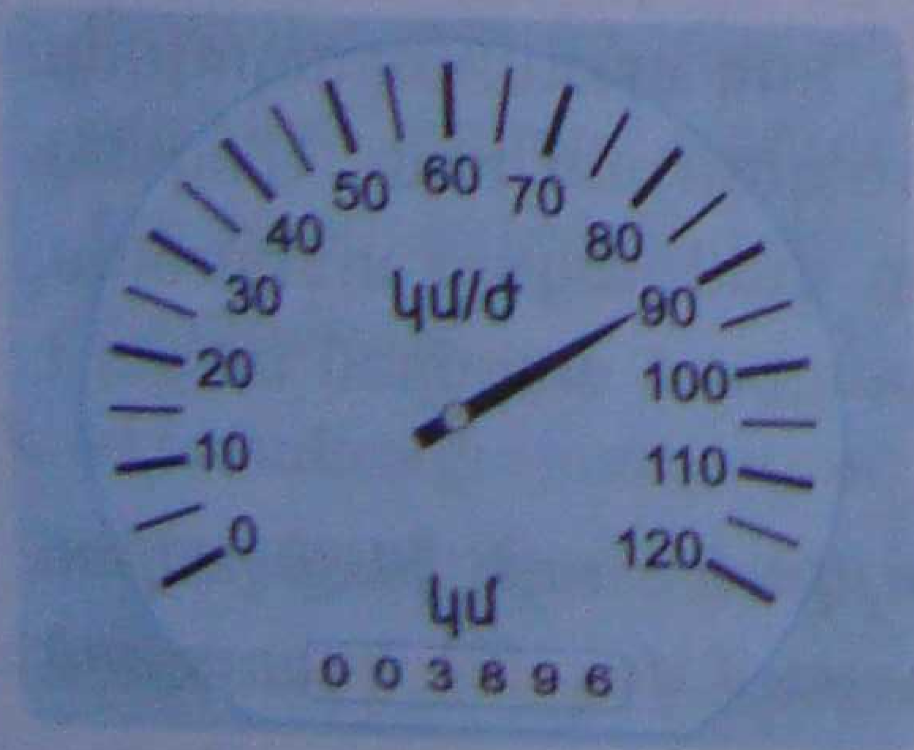
Քանի որ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման հետագիծն ուղիղ գիծ է, և մարմինն այդ դեպքում շարժվում է միշտ նույն ուղղությամբ, ապա նրա տեղափոխության մոդուլը` $|\vec{s}|$-ը, հավասար է անցած $s$ ճանապարհին: Հետևաբար` մարմնի արագության մոդուլը հավասար է t ժամանակում մարմնի անցած ճանապարհի և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությանը`

$$v = \frac{s}{t} : \quad (2.6)$$

Այս պատճառով արագության մոդուլը հաճախ անվանում են ***ճանապարհային (տրանսպորտային)*** արագություն: Հենց ճանապարհային արագությունն է ցույց տալիս ավտոմեքենաներում տեղադրվող արագաչափը (սպիդոմետր): Օրինակ, եթե արագաչափի սլաքը (նկ. 18) շարժման ժամանակ անընդհատ ցույց է տալիս միևնույն, ասենք` 90 կմ/ժ թիվը, ապա մեքենան շարժվում է հավասարաչափ և յուրաքանչյուր 1 ր-ում անցնում է 1,5 կմ ճանապարհ, 5 ր-ում` 7,5 կմ, 1 ժ-ում` 90 կմ և այլն:

(2.6) բանաձևից մարմնի անցած ճանապարհի համար կունենանք`

$$s = vt : \quad (2.7)$$



Նկ. 18

Այս արդյունքը կարելի է դնել ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման վերը նշված սահմանման համարժեք` երկրորդ սահմանման հիմքում:

Այն շարժումը, որի ժամանակ մարմնի հետագիծն ուղիղ գիծ է, այն միշտ շարժվում է նույն ուղղությամբ և

ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում անցնում է հավասար ճանապարհներ, կոչվում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում:

Արագության միավորը: Արագության սահմանումից հետևում է, որ եթե ուղղագիծ հավասարաչափ շարժվող մարմինը 1 վ-ում տեղափոխվում է 1 մ-ով, ապա նրա շարժման արագությունը հավասար կլինի մեկ միավորի (1 մ/վ): Այդպիսի շարժման արագությունն էլ հենց ընդունվում է որպես արագության միավոր Միջազգային համակարգում (ՄՀ)*.

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = 1 \text{ մ/վ} : \quad (2.8)$$

Որպես արագության միավոր են ընդունում այն ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագությունը, որի ընթացքում մարմինը յուրաքանչյուր 1 վ-ում անցնում է 1 մ ճանապարհ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում ուղղագիծ հավասարաչափ:*
2. *Ի՞նչն են անվանում ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագություն:*
3. *Ի՞նչ է ցույց տալիս ճանապարհային արագությունը:*
4. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում արագությունը ՄՀ-ում, և ո՞րն է այդ միավորի ֆիզիկական իմաստը:*
5. *Գրե՛ք ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման օրենքը վեկտորական տեսքով:*

§ 7. Տեղափոխության և արագության պրոյեկցիաները ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման ժամանակ

Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման հետագիծն ուղիղ գիծ է, ուստի հարմար է կոորդինատային առանցքներից մեկը (օրինակ՝ X-ը) ուղղել հետագծի երկայնքով: Այդ դեպքում մարմնի շարժման ընթացքում կփոփոխվի միայն մեկ՝ x կոորդինատը: Այդ առանցքի երկայնքով ուղղված կլինեն մարմնի և՛ շարժման արագության, և՛ տեղափոխության վեկտորները:

$\vec{s} = \vec{v}t$ հավասարությունից հետևում է $\vec{s}$ և $\vec{v}t$ վեկտորների պրոյեկցիաների հավասարությունը ցանկացած ուղղության վրա: Մասնավորապես, հավասար են նրանց պրոյեկցիաները X առանցքի վրա՝

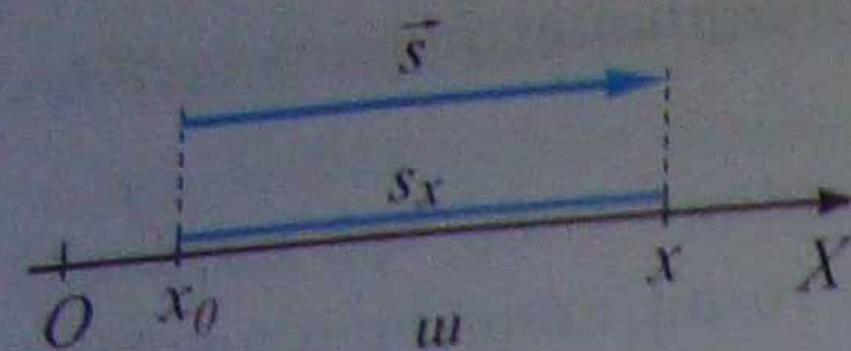
$$s_x = v_x t : \quad (2.9)$$

Այժմ կարելի է ստանալ մարմնի x կոորդինատը ժամանակի ցանկացած պահին հաշվելու բանաձևը: Եթե մարմինը, շարժվելով x_0 կոորդինատով կետից, t ժամանակամիջոցում կատարել է $\vec{s}$ տեղափոխություն, ապա նկ. 19,ա-ից երևում է, որ t պահին մարմնի կոորդինատը հավասար կլինի՝ $x = x_0 + s_x$, հետևաբար՝

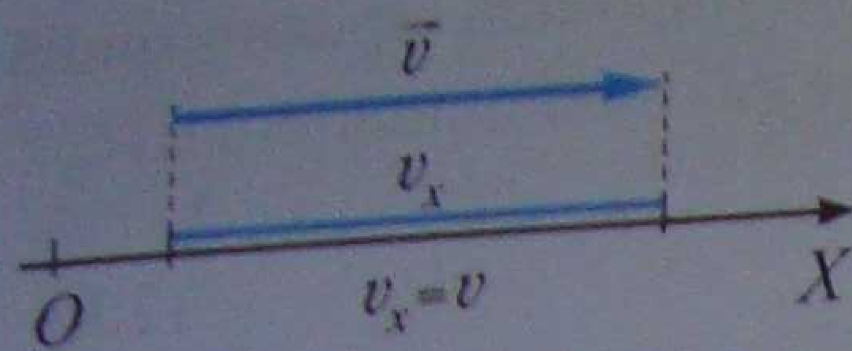
$$\boxed{x = x_0 + v_x t} : \quad (2.10)$$

(2.10) բանաձևն արտահայտում է նյութական կետի կոորդինատի կախումը ժամանակից, իսկ դա նշանակում է, որ այն մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումն է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում:

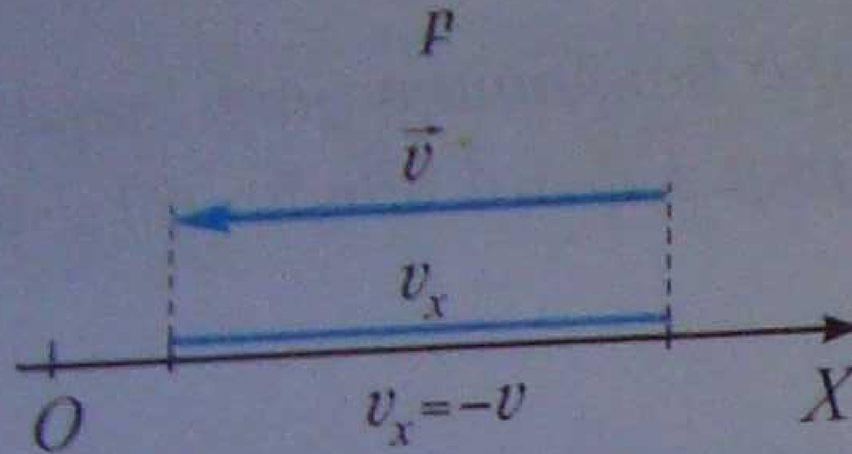
* Այսուհետև A ֆիզիկական մեծության միավորը նշելու համար կօգտագործենք [A] նշանակումը:



ա



բ



գ

Նկ. 19

(2.10) բանաձևից երևում է, որ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում մարմնի (նյութական կետի) դիրքը ժամանակի ցանկացած պահին գտնելու համար պետք է իմանալ մարմնի սկզբնական x_0 կոորդինատը և արագության վեկտորի պրոյեկցիան այն առանցքի վրա, որով շարժվում է մարմինը: Ընդ որում, անհրաժեշտ է հիշել, որ արագության վեկտորի պրոյեկցիան կարող է լինել դրական կամ բացասական (նկ. 19,բ և նկ. 19,գ):

Եթե մարմինը շարժվում է կոորդինատային առանցքի դրական ուղղությամբ, ապա արագության վեկտորի պրոյեկցիան դրական է և հավասար արագության v մոդուլին, այսինքն՝ ճանապարհային արագությանը (նկ. 19,բ): Այս դեպքում մարմնի կոորդինատի կախումը ժամանակից ունի հետևյալ տեսքը.

$$x = x_0 + vt\ : \qquad (2.11)$$

Իսկ եթե մարմինը շարժվում է կոորդինատային առանցքի բացասական ուղղությամբ, ապա արագության վեկտորի պրոյեկցիան բացասական է, և մարմնի կոորդինատի կախումը ժամանակից տրվում է

$$x = x_0 - vt \qquad (2.12)$$

հավասարությամբ: (2.10) բանաձևը թույլ է տալիս պարզել արագության վեկտորի պրոյեկցիայի ֆիզիկական իմաստը: Իսկապես, այդ բանաձևից հետևում է, որ

$$v_x = \frac{x - x_0}{t}, \qquad (2.13)$$

այսինքն՝ արագության վեկտորի պրոյեկցիան հավասար է միավոր ժամանակում համապատասխան կոորդինատի փոփոխությանը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում կատարող նյութական կետի տեղափոխության պրոյեկցիայի և x կոորդինատի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևերը:*
2. *Ո՞ր դեպքում է արագության պրոյեկցիան դրական և ո՞ր դեպքում՝ բացասական:*
3. *Ինչպե՞ս է արագության վեկտորի v_x պրոյեկցիան կապված x կոորդինատի փոփոխության հետ:*

§ 8. Շարժման գրաֆիկական պատկերումը

Մարմնի շառավիղ-վեկտորի կամ կոորդինատի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևերն ամբողջությամբ նկարագրում են մարմնի շարժումը: Հաճախ մի ֆիզիկական մեծության կախումը մյուսից հարմար է լինում արտահայտել ոչ թե բանաձևերի, այլ գրաֆիկների միջոցով, որոնք պարզորոշ կերպով ցույց են տալիս ֆիզիկական մեծության փոփոխման պատկերը և կարող են հեշտացնել որոշ հաշվարկներ:

Եթե հորիզոնական (աբսցիսների) առանցքի վրա որոշակի մասշտաբով տեղադրենք ժամանակի հաշվարկման սկզբից անցած ժամանակամիջոցները, իսկ ուղղաձիգ (օրդինատների) առանցքի վրա, նույնպես համապատասխան մասշտաբով՝ մարմնի կոորդինատի արժեքները, ապա ստացված գրաֆիկը, որը պատկերում է մարմնի կոորդինատի կախումը ժամանակից, անվանում են ***շարժման գրաֆիկ***:

Նկ. 20

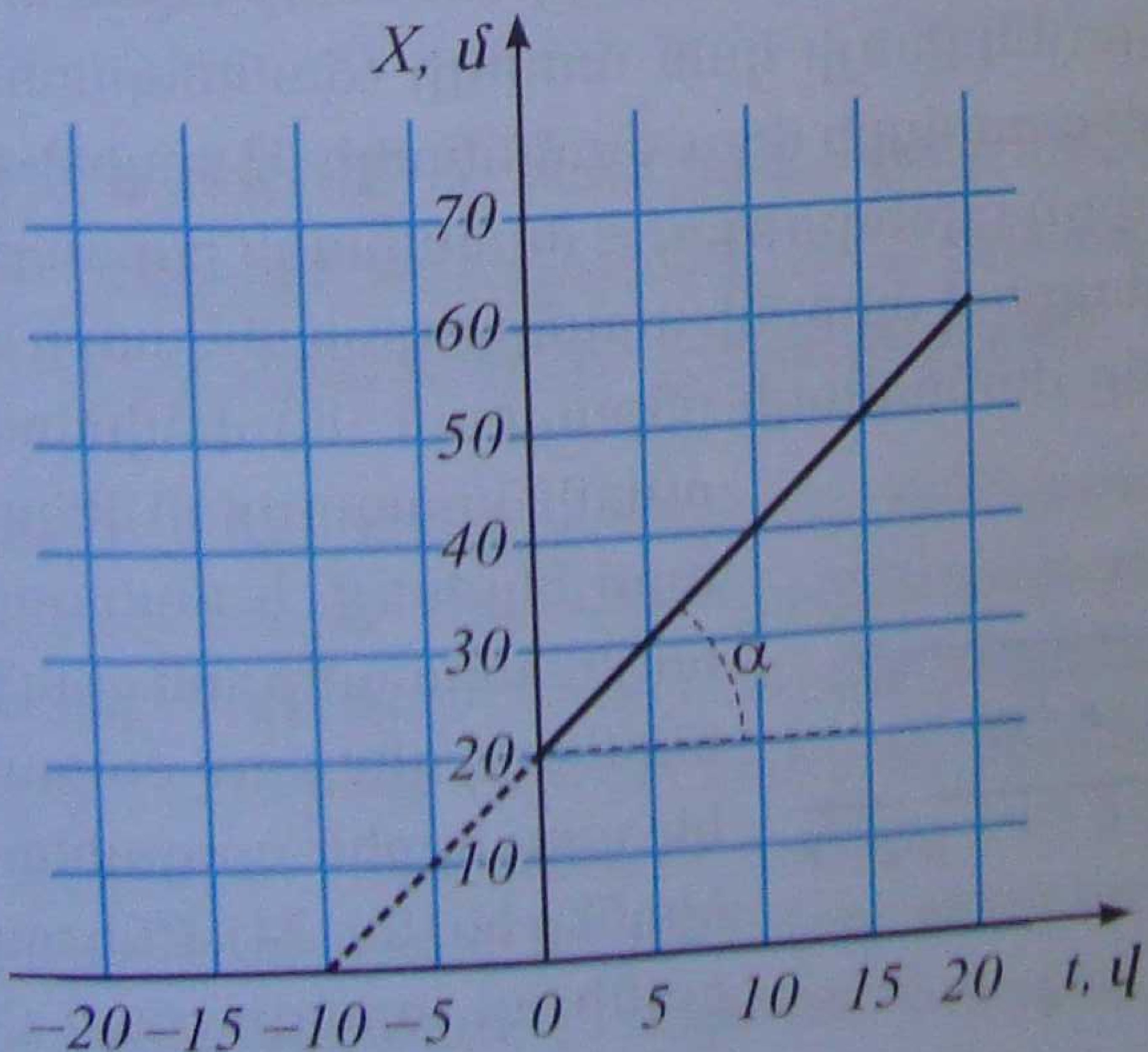
Ենթադրենք, թե մարմինը $t = 0$ պահին գտնվել է $x_0 = 20$ մ կոորդինատով կետում և $v = 2$մ/վ արագությամբ հավասարաչափ շարժվում է կոորդինատային առանցքի դրական ուղղությամբ (նկ. 20): Այդ դեպքում մարմնի շարժման օրենքը, համաձայն (2.11) հավասարման, կունենա $x = 20 + 2t$ տեսքը:

Մարմնի շարժման գրաֆիկը կառուցելու համար ուղղաձիգ առանցքի վրա տեղադրենք x-ի արժեքները, իսկ հորիզոնական առանցքի վրա՝ t ժամանակի արժեքները (նկ. 21): Այդ շարժման գրաֆիկն ուղիղ գիծ է, քանի որ մարմնի կոորդինատը ժամանակից կախված է գծայնորեն:

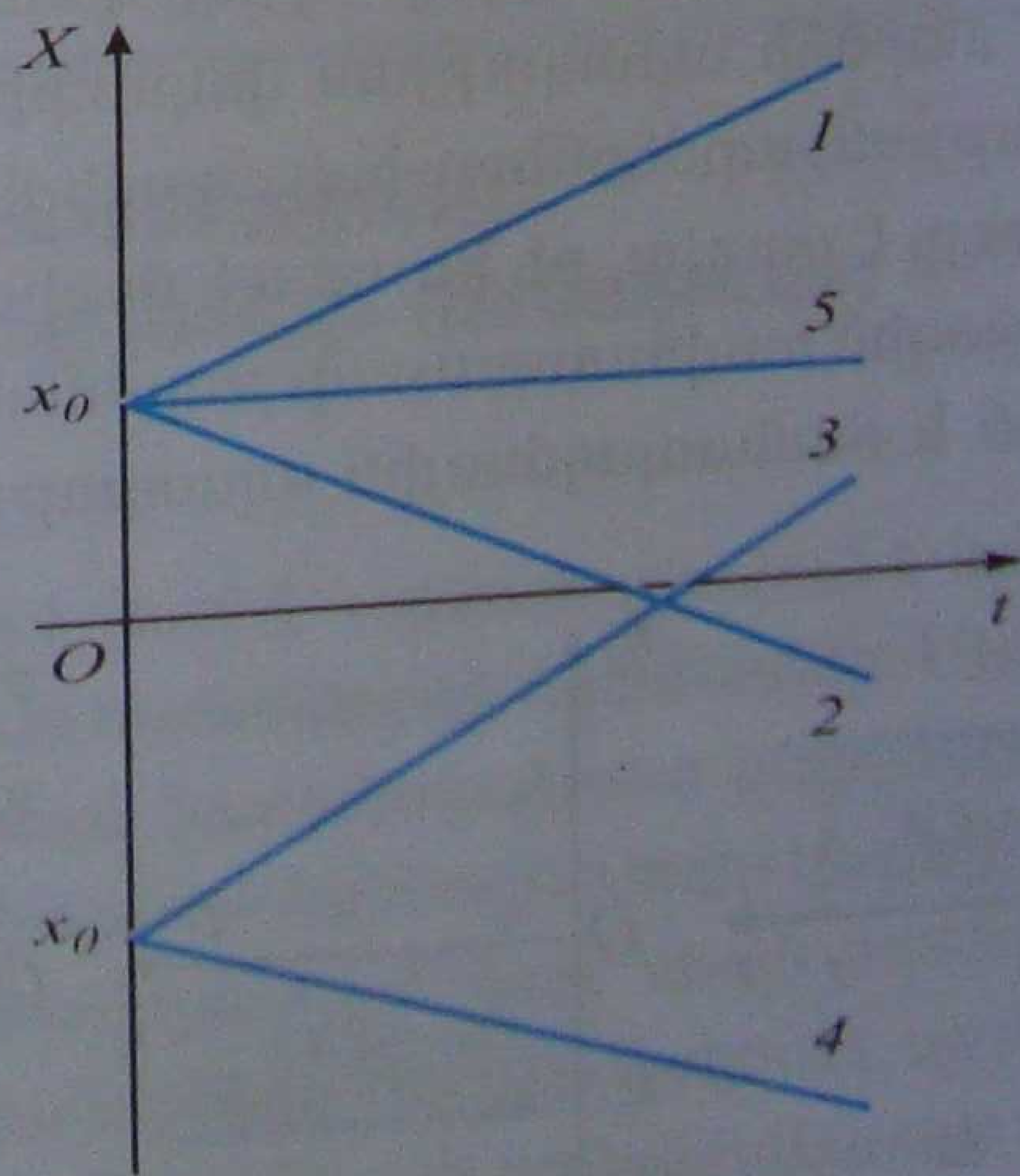
Մարմնի ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում շարժման գրաֆիկները տալիս են մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումը, քանի որ դրանք հնարավորություն են ընձեռում գտնելու մարմնի դիրքը ժամանակի ցանկացած պահին, ներառյալ նաև այն պահերը, որոնք նախորդում են սկզբնականին (եթե ենթադրենք, որ մարմինը նույնպիսի արագությամբ շարժվել է նաև մինչև ժամանակի հաշվարկման սկիզբը):

Նկ. 21-ում պատկերված գրաֆիկը շարունակելով ժամանակի առանցքի դրական ուղղությանը հակառակ կողմը՝ կգտնենք, օրինակ, որ մարմինը 20 մ կոորդինատով կետում հայտնվելուց 10 վ առաջ եղել է կոորդինատի հաշվարկման սկզբնակետում:

Ընդհանուր դեպքում ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման հավասարումն ունի $x = x_0 + v_x t$ տեսքը: Կախված x_0-ի և v_x-ի նշաններից՝ մարմնի շարժման գրաֆիկը կարող է ունենալ նկ. 22-ում պատկերված 5 տեսքերից մեկը: 1 գրաֆիկը համապատաս-

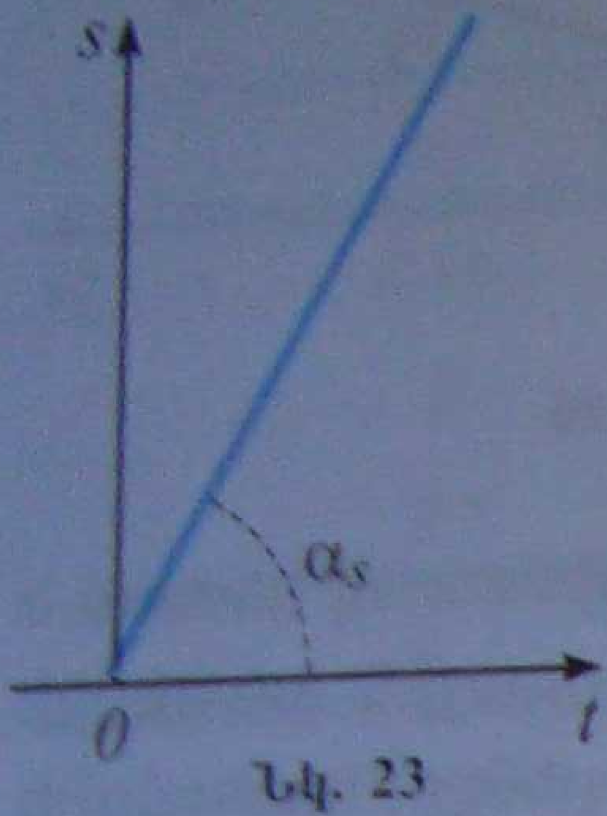


Նկ. 21



Նկ. 22

խանում է այն դեպքին, երբ մարմնի սկզբնական կոորդինատը դրական է ($x_0>0$), և մարմինը շարժվում է կոորդինատային առանցքի դրական ուղղությամբ ($v_x>0$), 2 գրաֆիկը համապատասխանում է $x_0>0$, $v_x<0$ դեպքին, 3 և 4 գրաֆիկները՝ համապատասխանաբար $x_0<0$, $v_x>0$ և $x_0<0$, $v_x<0$ դեպքերին, 5-ը՝ $v_x=0$ դեպքին:



Նկ. 23

Շարժման գրաֆիկ են անվանում նաև մարմնի անցած ճանապարհի կախումը ժամանակից պատկերող գրաֆիկը: $s=vt$ ճանապարհի կախումը ժամանակից երևում է, որ ճանապարհը ժամանակից նույնպես կախված է գծայնորեն: Ի տարբերություն կոորդինատի գրաֆիկի, որն օրդինատների առանցքը կարող է հատել ցանկացած կետում, աճել կամ նվազել, ճանապարհի գրաֆիկը միշտ սկսվում է կոորդինատների սկզբնակետից և չի նվազում (նկ. 23):

Ժամանակի առանցքի հետ շարժման գրաֆիկի կազմած անկյունը կախված է մարմնի արագությունից: Որքան մեծ է մարմնի շարժման արագությունը, այնքան մեծ է անկյունը, այսինքն՝ շեշտակի է թեքված գրաֆիկը (նկ. 21-23): Ինչպես երևում է նկ. 21-ից, ժամանակի առանցքի հետ x կոորդինատի գրաֆիկի կազմած α անկյան տանգենսը (տրված մասշտաբի դեպքում)՝

$$tg\alpha \sim \frac{x-x_0}{t}: \qquad (2.14)$$

(2.14)-ի աջ մասը հավասար է արագության v_x պրոյեկցիային, հետևաբար՝

$$v_x \sim tg\alpha: \qquad (2.15)$$

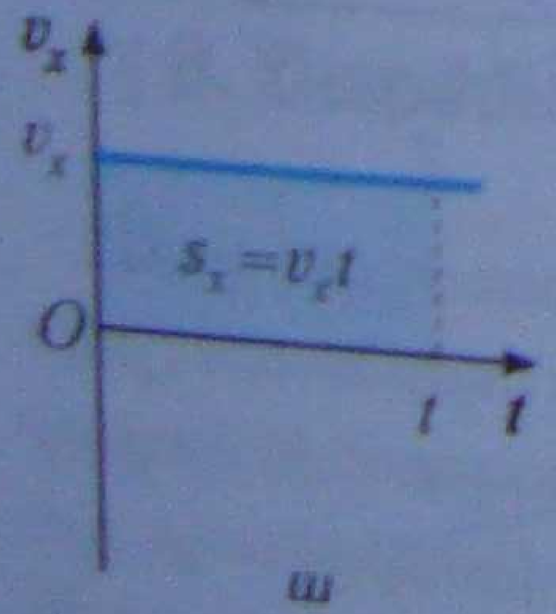
Նկ. 23-ից ճանապարհի գրաֆիկի թեքության α_s անկյան տանգենսը հավասար է s/t, իսկ s/t-ն արագության մոդուլն է, հետևաբար՝

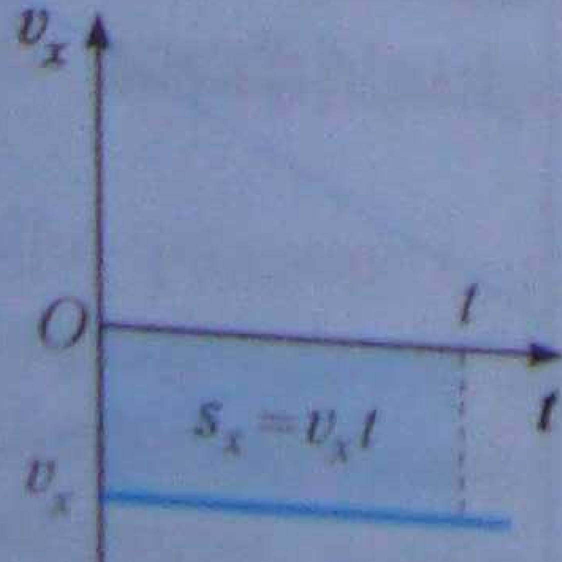
$$v \sim tg\alpha_s: \qquad (2.16)$$

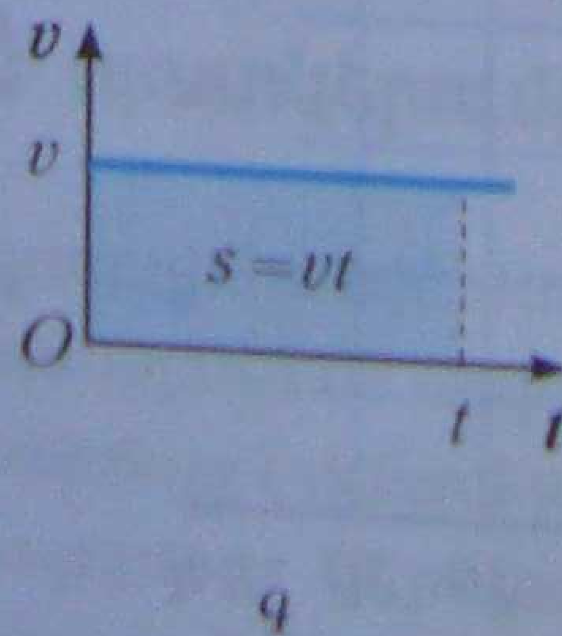
Այսպիսով՝ ***ժամանակի առանցքի հետ x կոորդինատի գրաֆիկի կազմած անկյան տանգենսը, տրված մասշտաբի դեպքում, համեմատական է արագության վեկտորի պրոյեկցիային, իսկ ճանապարհի գրաֆիկի կազմած անկյան տանգենսը՝ ճանապարհային արագությանը:***

Արագության գրաֆիկը: Շարժման գրաֆիկի հետ մեկտեղ օգտվում են նաև արագության գրաֆիկից: Այդ գրաֆիկը կառուցում են՝ օրդինատների առանցքի վրա տեղադրելով մարմնի արագության վեկտորի պրոյեկցիայի կամ մոդուլի (ճանապարհային արագության) արժեքները, իսկ աբսցիսների առանցքի վրա՝ ժամանակի: Այդպիսի գրաֆիկը ցույց է տալիս, թե ինչպես է փոփոխվում արագությունը ժամանակի ընթացքում:

Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում մարմնի արագության վեկտորի պրոյեկցիան և ճանապարհային արագությունը ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում, ուստի արագության վեկտորի պրոյեկցիայի և ճանապարհային արագության գրաֆիկները այդ դեպքում ժամանակի առանցքին զուգահեռ ուղիղներ են (նկ. 24): Ընդ որում, քանի որ արագության վեկտորի պրոյեկցիան կարող է







Նկ. 24

ունենալ ինչպես դրական, այնպես էլ բացասական արժեքներ, ապա նրա գրաֆիկն ունի նկ. 24,*ա*-ի կամ նկ. 24,*բ*-ի տեսքերից մեկը՝ կախված այն բանից, թե որ ուղղությամբ է շարժվում մարմինը, իսկ ճանապարհային արագությունը միշտ դրական մեծություն է, և, անկախ մարմնի շարժման ուղղությունից, նրա գրաֆիկն ունի նկ. 24,*գ*-ում պատկերված տեսքը:

Ինչպես շարժման գրաֆիկներից կարելի է որոշել մարմնի արագությունը, այնպես էլ արագության գրաֆիկներից կարելի է իմանալ տվյալ ժամանակամիջոցում մարմնի կատարած տեղափոխության պրոյեկցիան և անցած ճանապարհը: Իրոք, ուղղանկյան մակերեսը հավասար է նրա երկու կից կողմերի արտադրյալին: Նկ. 24-ի ներկված ուղղանկյունների կողմերից մեկը որոշակի մասշտաբով հավասար է t ժամանակամիջոցին, իսկ մյուսը՝ արագության վեկտորի պրոյեկցիային (*ա* և *բ* դեպքեր) կամ ճանապարհային արագությանը (*գ* դեպք): *ա* և *բ* դեպքերում նրանց $v_x t$ արտադրյալը մարմնի կատարած տեղափոխության պրոյեկցիան է, *գ* դեպքում՝ vt արտադրյալը հենց հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին:

Այսպիսով՝ ***ճանապարհային արագության գրաֆիկով սահմանափակված ուղղանկյան մակերեսը թվապես հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին, իսկ արագության վեկտորի պրոյեկցիայի գրաֆիկով սահմանափակված ուղղանկյան մակերեսը՝ տեղափոխության պրոյեկցիային:***

Արագության գրաֆիկով մարմնի կատարած տեղափոխության պրոյեկցիան և անցած ճանապարհը հաշվելու նշված մեթոդը մեծ գործնական նշանակություն ունի, քանի որ այն կարելի է կիրառել ոչ միայն հավասարաչափ, այլև կամայական շարժման դեպքում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում շարժման գրաֆիկ:*
2. *Ինչի՞ց և ինչպե՞ս է կախված ժամանակի առանցքի հետ շարժման գրաֆիկի կազմած անկյունը:*
3. *Ի՞նչ է ցույց տալիս շարժման գրաֆիկի շարունակությունը, որը նկ.21-ում պատկերված է կետագծերով:*
4. *Ինչի՞ է հավասար ուղղանկյան մակերեսը, որը սահմանափակված է.*
   ա) ճանապարհային արագության գրաֆիկով,
   բ) արագության վեկտորի պրոյեկցիայի գրաֆիկով:

§ 9. Շարժման և դադարի հարաբերականությունը: Տեղափոխությունների և արագությունների գումարումը: Հարաբերական արագություն

Մարմնի դիրքը տարածության մեջ որոշակի է (այն է՝ արտահայտվում է որոշակի կոորդինատներով) միայն որոշակի հաշվարկման համակարգի նկատմամբ: Ակներև է, որ միևնույն մարմնի դիրքը տարբեր հաշվարկման համակարգերում կարտահայտվի տարբեր կոորդինատներով: Օրինակ՝ նկ. 25-ում ավտոմեքենայի դիրքը կարելի է որոշել՝ նշելով, որ այն գտնվում է տնից 200 մ հեռավորության վրա՝ դեպի արևելք կամ կամրջից 300 մ հեռավորության վրա՝ դեպի հյուսիս-արևելք: Սա նշանակում է, որ մարմնի դիրքը հարաբերական է, այսինքն՝ կախված է այն բանից, թե որ համակարգի նկատմամբ է այն որոշվում:

ունենալ ինչպես դրական, այնպես էլ բացասական արժեքներ, ապա նրա գրաֆիկն ունի նկ. 24,ա-ի կամ նկ. 24,բ-ի տեսքերից մեկը՝ կախված այն բանից, թե որ ուղղությամբ է շարժվում մարմինը, իսկ ճանապարհային արագությունը միշտ դրական մեծություն է, և, անկախ մարմնի շարժման ուղղությունից, նրա գրաֆիկն ունի նկ. 24,գ-ում պատկերված տեսքը:

Ինչպես շարժման գրաֆիկներից կարելի է որոշել մարմնի արագությունը, այնպես էլ արագության գրաֆիկներից կարելի է իմանալ տվյալ ժամանակամիջոցում մարմնի կատարած տեղափոխության պրոյեկցիան և անցած ճանապարհը: Իրոք, ուղղանկյան մակերեսը հավասար է նրա երկու կից կողմերի արտադրյալին: Նկ. 24-ի ներկված ուղղանկյունների կողմերից մեկը որոշակի մասշտաբով հավասար է t ժամանակամիջոցին, իսկ մյուսը՝ արագության վեկտորի պրոյեկցիային (ա և բ դեպքեր) կամ ճանապարհային արագությանը (գ դեպք): ա և բ դեպքերում նրանց $v_x t$ արտադրյալը մարմնի կատարած տեղափոխության պրոյեկցիան է, գ դեպքում՝ vt արտադրյալը հենց հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին:

Այսպիսով՝ *ճանապարհային արագության գրաֆիկով սահմանափակված ուղղանկյան մակերեսը թվապես հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին, իսկ արագության վեկտորի պրոյեկցիայի գրաֆիկով սահմանափակված ուղղանկյան մակերեսը՝ տեղափոխության պրոյեկցիային:*

Արագության գրաֆիկով մարմնի կատարած տեղափոխության պրոյեկցիան և անցած ճանապարհը հաշվելու նշված մեթոդը մեծ գործնական նշանակություն ունի, քանի որ այն կարելի է կիրառել ոչ միայն հավասարաչափ, այլև կամայական շարժման դեպքում:

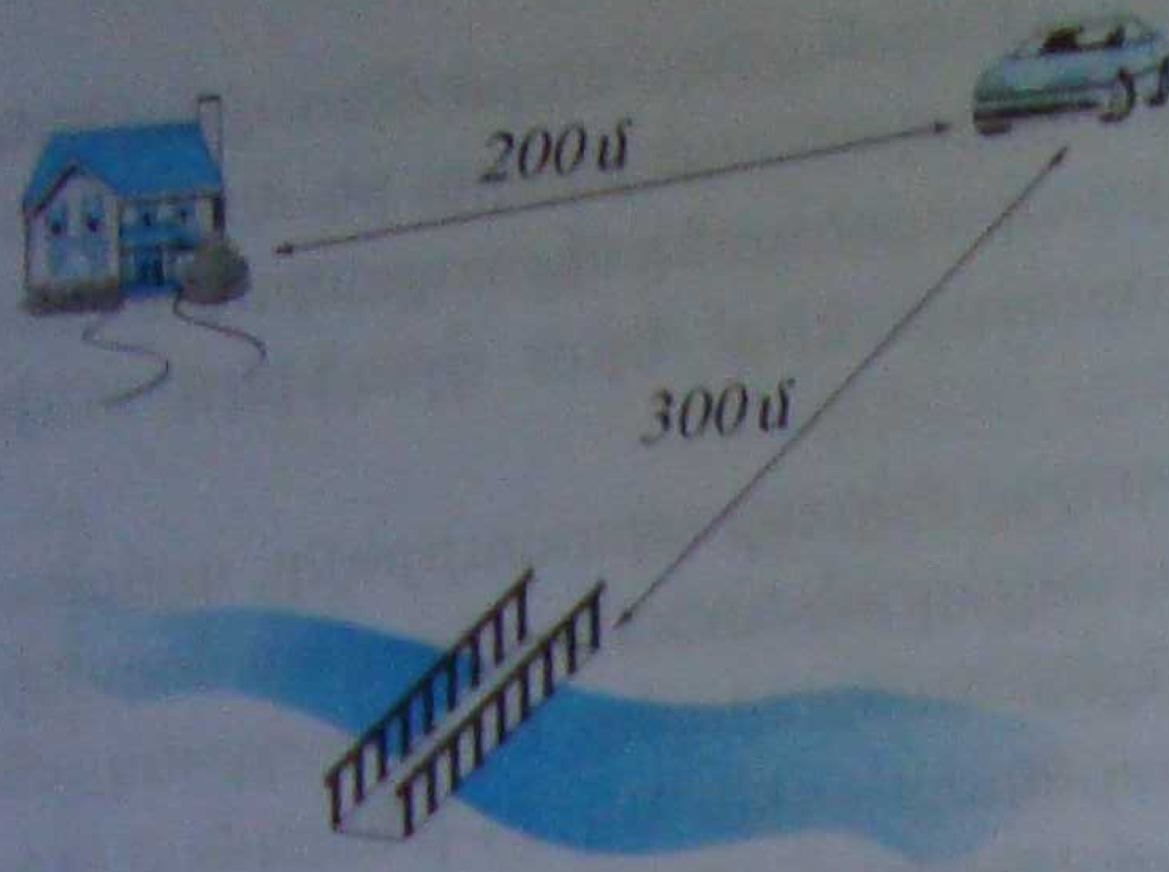
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում շարժման գրաֆիկ:*
2. *Ինչի՞ց և ինչպե՞ս է կախված ժամանակի առանցքի հետ շարժման գրաֆիկի կազմած անկյունը:*
3. *Ի՞նչ է ցույց տալիս շարժման գրաֆիկի շարունակությունը, որը նկ.21-ում պատկերված է կետագծերով:*
4. *Ինչի՞ է հավասար ուղղանկյան մակերեսը, որը սահմանափակված է.*
   ա) ճանապարհային արագության գրաֆիկով,
   բ) արագության վեկտորի պրոյեկցիայի գրաֆիկով:

§ 9. Շարժման և դադարի հարաբերականությունը: Տեղափոխությունների և արագությունների գումարումը: Հարաբերական արագություն

Մարմնի դիրքը տարածության մեջ որոշակի է (այն է՝ արտահայտվում է որոշակի կոորդինատներով) միայն որոշակի հաշվարկման համակարգի նկատմամբ: Ակներև է, որ միևնույն մարմնի դիրքը տարբեր հաշվարկման համակարգերում կարտահայտվի տարբեր կոորդինատներով: Օրինակ՝ նկ. 25-ում ավտոմեքենայի դիրքը կարելի է որոշել՝ նշելով, որ այն գտնվում է տնից 200 մ հեռավորության վրա՝ դեպի արևելք կամ կամրջից 300 մ հեռավորության վրա՝ դեպի հյուսիս-արևելք: Սա նշանակում է, որ մարմնի դիրքը հարաբերական է, այսինքն՝ կախված է այն բանից, թե որ համակարգի նկատմամբ է այն որոշվում:

Բայց միայն մարմնի դիրքը չէ, որ հարաբերական է: Հարաբերական են նաև նրա շարժումն ու դադարը: Շարժման և դադարի ժումբ և դադարը: Շարժման և դադարի հարաբերական լինելում մեզ կհամոզի, թերևս, հետևյալ օրինակը:



Նկ. 25

Ձեզանից ամեն մեկն էլ, հավանաբար, անշարժ գնացքի վագոնի պատուհանից հարևան գծով սլացող գնացքին նայելիս զգացած կլինի, որ եթե հայացքը սևեռի միայն այդ գնացքին (այն է՝ չտեսնի գետինը, մոտակա կառույցները և այլն), ապա որքան դժվար է պարզել, թե գնացքներից որն է շարժվում: Եվ եթե սլացող գնացքի ուղևորը պնդի, թե շարժվում է «իր» գնացքը, իսկ դուք դադարի վիճակում եք, ապա դուք էլ ձեր հերթին նույնչափ իրավունք ունեք ասելու, որ, ընդհակառակը, շարժվում է «ձեր» գնացքը, իսկ մյուսն անշարժ է: Երկուսդ էլ կլինեք իրավացի, քանի որ, ինչպես ասացինք, և՛ շարժումը, և՛ դադարը հարաբերական են. «շարժվու՞մ է գնացքը, թե՞ ոչ» հարցն անիմաստ է, եթե չենք ասում՝ «ո՞ր մարմնի նկատմամբ»:

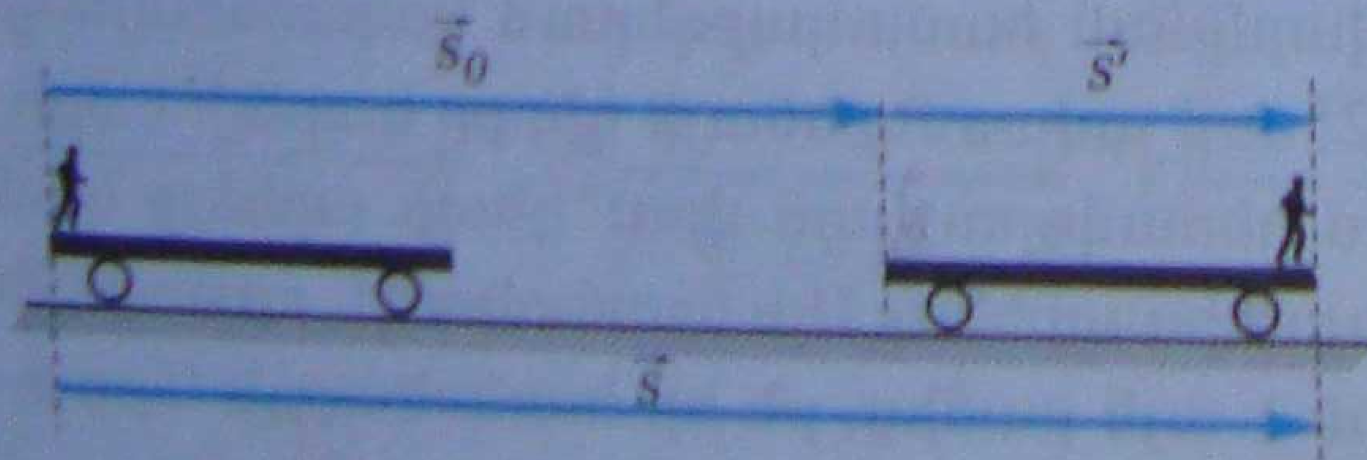
Ուսումնասիրենք մարմնի շարժումը միմյանց նկատմամբ շարժվող երկու տարբեր հաշվարկման համակարգերում: Համարենք, որ նրանցից մեկն անշարժ է, իսկ երկրորդն առաջինի նկատմամբ շարժվում է ուղղագիծ հավասարաչափ: Օրինակ՝ մարդը քայլում է կայարանից հեռացող երկաթուղային հարթակի վրայով (նկ. 26):

Պատկերացնենք, որ մարդու շարժմանը հետևում է երկու դիտորդ, որոնցից մեկը կանգնած է կառամատույցին, իսկ մյուսը՝ հարթակի վրա: Երկու դիտորդներն էլ որոշում են մարդու տեղափոխությունը: Առաջին դիտորդին կապված հաշվարկման համակարգը պայմանականորեն անվանենք ***անշարժ***, իսկ երկրորդին կապվածը՝ ***շարժվող***:

Երբ որոշ t ժամանակ անց մարդը հասնում է հարթակի եզրին՝ շարժվող համակարգի նկատմամբ կատարելով $\vec{s}'$ տեղափոխություն, հարթակն այդ ընթացքում կատարում է $\vec{s}_0$ տեղափոխություն: Կառամատույցին կանգնած դիտորդի նկատմամբ մարդու կատարած տեղափոխությունը $\vec{s}$-ն է: Ինչպես երևում է նկ. 26-ից՝

$$\vec{s} = \vec{s}' + \vec{s}_0 : \quad (2.17)$$

Ստացված հավասարությունը կրում է ***տեղափոխությունների գումարման բանաձև*** անվանումը: Չնայած բանաձևը ստացանք այն դեպքի համար, երբ մարդը և հարթակը շարժվում էին միևնույն ուղղի երկայնքով, սակայն այն ճիշտ է բոլոր դեպքերում: Նկ. 27-ում պատկերված է ընդհանուր դեպքը, երբ մարմինը և շարժվող համակարգը տեղափոխվում են կամայական ուղղություններով: Դիցուք՝ ժամանակի $t = 0$ պահին մարմինը և շարժվող համակարգի սկզբնակետը գտնվել են նույն O′ կետում, իսկ t պահին



Նկ. 26

տեղափոխվել են համապատասխանաբար M և O″ կետերը, ընդսմին՝ $\vec{s} = \overline{\mathrm{O'M}}$-ը մարմնի տեղափոխությունն է O սկզբնակետով անշարժ համակարգի նկատմամբ, $\vec{s}' = \overline{\mathrm{O''M}}$-ը՝ շարժվողի, որի տեղափոխությունն անշարժ համակար-

գի նկատմամբ $\vec{s}_0 = \overrightarrow{O'O''}$ վեկտորն է: Օգտվելով վեկտորների գումարման եռանկյան կանոնից՝ դարձյալ ստանում ենք (2.17) հավասարությունը:

Մարմնի կատարած տեղափոխությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ հավասար է շարժվող համակարգի նկատմամբ նրա կատարած տեղափոխության և անշարժ համակարգի նկատմամբ շարժվող համակարգի կատարած տեղափոխության վեկտորական (երկրաչափական) գումարին:

Նկ. 27

Տեղափոխությունների գումարման բանաձևի երկու կողմերը բաժանենք t -ի վրա՝

$$\frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}'}{t} + \frac{\vec{s}_0}{t} : \qquad (2.18)$$

Բայց $\vec{s}/t$ հարաբերությունը մարմնի $\vec{v}$ արագությունն է անշարժ համակարգի նկատմամբ, $\vec{s}_0/t$ հարաբերությունը՝ շարժվող համակարգի $\vec{v}_0$ արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ, իսկ $\vec{s}'/t$ հարաբերությունը՝ մարմնի $\vec{v}'$ արագությունը շարժվող համակարգի նկատմամբ: Ուստի՝

$$\boxed{\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0} : \qquad (2.19)$$

Այս արտահայտությունը կոչվում է ***արագությունների գումարման բանաձև***: ***Մարմնի արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ հավասար է շարժվող համակարգի նկատմամբ մարմնի արագության և անշարժ համակարգի նկատմամբ շարժվող համակարգի արագության վեկտորական գումարին:***

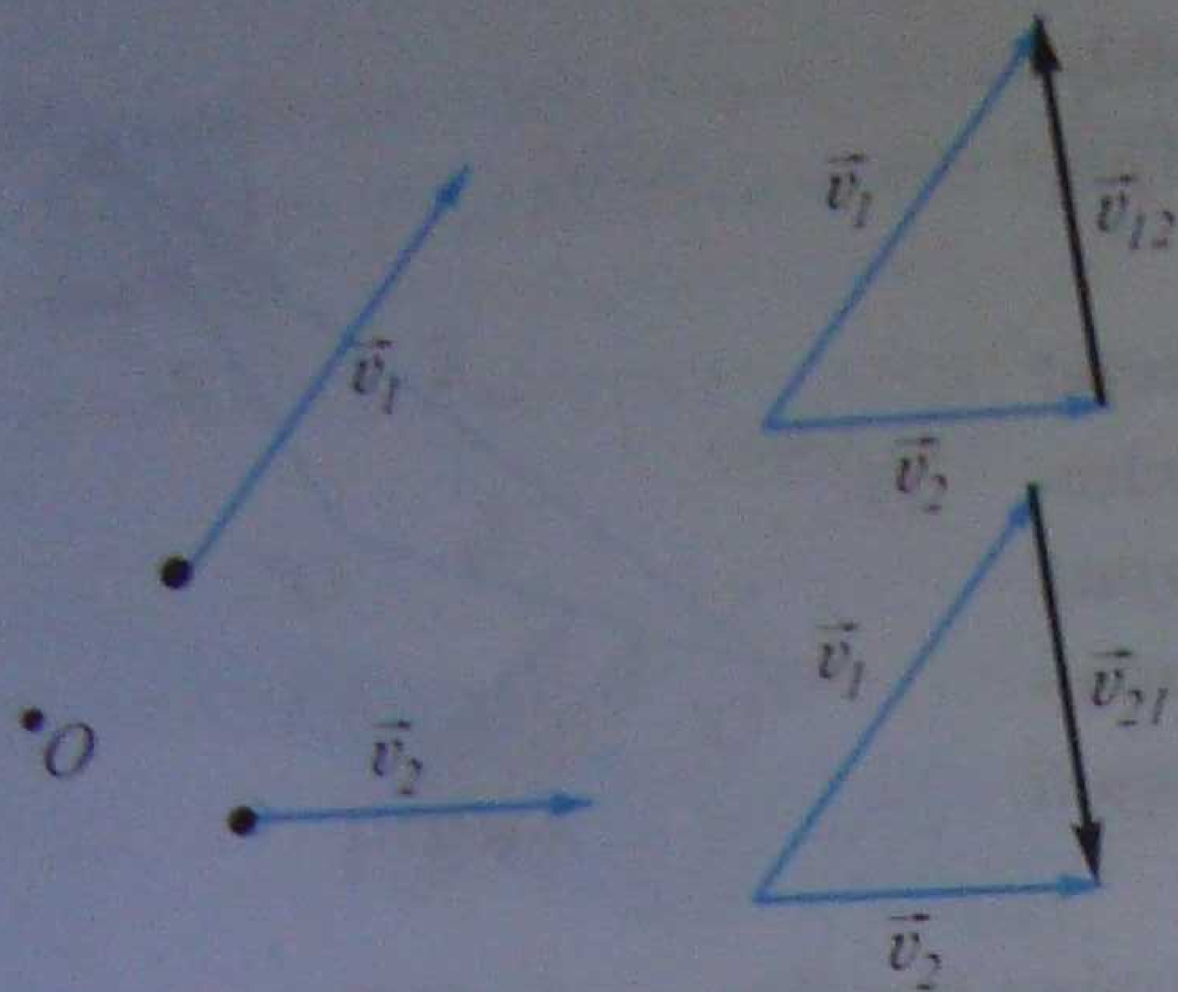
(2.19) բանաձևից հետևում է, որ եթե մարմինը շարժվող համակարգի նկատմամբ գտնվում է դադարի վիճակում ($\vec{v}' = 0$), ապա անշարժ համակարգի նկատմամբ այն շարժվում է $\vec{v} = \vec{v}_0$ արագությամբ:

Այսպիսով՝ մի համակարգի նկատմամբ դադարի վիճակում գտնվող մարմինը շարժվում է մի այլ համակարգի նկատմամբ, ընդ որում, մարմնի և՛ տեղափոխությունը, և՛ շարժման արագությունն ու հետագիծը կարող են տարբեր լինել տարբեր հաշվարկման համակարգերում: Հենց դա էլ շարժման և դադարի հարաբերականությունն է:

(2.19) բանաձևով որոշվում է մարմնի արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ, երբ հայտնի են նրա $\vec{v}'$ արագությունը շարժվող համակարգի նկատմամբ և շարժվող համակարգի $\vec{v}_0$ արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ: Որպես կանոն, հենց այդ արագություններն են հայտնի լինում, օրինակ՝ երբ նավը լողում է գետում, ինքնաթիռը թռչում է քամու առկայության պայմաններում, որովհետև նավում և ինքնաթիռում տեղադրված արագաչափերը ցույց են տալիս դրանց արագությունը համապատասխանաբար ջրի և օդի նկատմամբ: Այս դեպքերում միևնույն մարմնի շարժումը քննարկվում է երկու տարբեր հաշվարկման համակարգերում:

Գործնականում հանդիպում են դեպքեր, երբ հայտնի են լինում երկու տարբեր մարմինների արագությունները միևնույն հաշվարկման համակարգի նկատմամբ, և հարկ է լինում ուսումնասիրել դրանցից մեկի շարժումը մյուսի նկատմամբ:

Դիցուք՝ երկու մարմին O սկզբնակետով անշարժ համակարգի նկատմամբ շարժվում են համապատասխանաբար $\vec{v}_1$ և $\vec{v}_2$ արագություններով: Որոշենք մի մարմնի արագությունը մյուսի նկատմամբ, այսինքն՝ ***հարաբերական*** արագությունը (նկ. 28):



Նկ. 28

«Երկրորդ մարմնի արագությունն առաջինի նկատմամբ» ասելով հասկանում ենք II մարմնի արագությունն I մարմնի հետ կապված հաշվարկման համակարգում: Դիցուք՝ հայտնի է II մարմնի $\vec{v}_2$ արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ, և պետք է որոշել նրա $\vec{v}_{21}$ արագությունը $\vec{v}_1$ արագությամբ շարժվող համակարգի նկատմամբ: Համաձայն արագությունների գումարման բանաձևի՝ $\vec{v}_2 = \vec{v}_{21} + \vec{v}_1$, որտեղից՝

$$\boxed{\vec{v}_{21} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1} : \qquad (2.20)$$

Հանգունորեն. I մարմնի $\vec{v}_{12}$ արագությունը երկրորդի նկատմամբ՝

$$\vec{v}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \text{, այսինքն՝ } \vec{v}_{21} = -\vec{v}_{12} :$$

Այսպիսով՝ երկու մարմիններից յուրաքանչյուրի հարաբերական արագությունը հավասար է նրանց արագությունների տարբերությանը:

Օրինակ, եթե $\vec{v}_1$ արագությամբ շարժվող I գնացքում նստած ուղևորը նայում է հանդիպակաց ուղղությամբ $\vec{v}_2$ արագությամբ շարժվող II գնացքին, ապա նա տեսնում է, որ II գնացքը շարժվում է $\vec{v}_{21} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ արագությամբ, որի մոդուլը հավասար է $v_1 + v_2$, քանի որ հակուղղված վեկտորների տարբերության մոդուլը հավասար է վեկտորների մոդուլների գումարին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

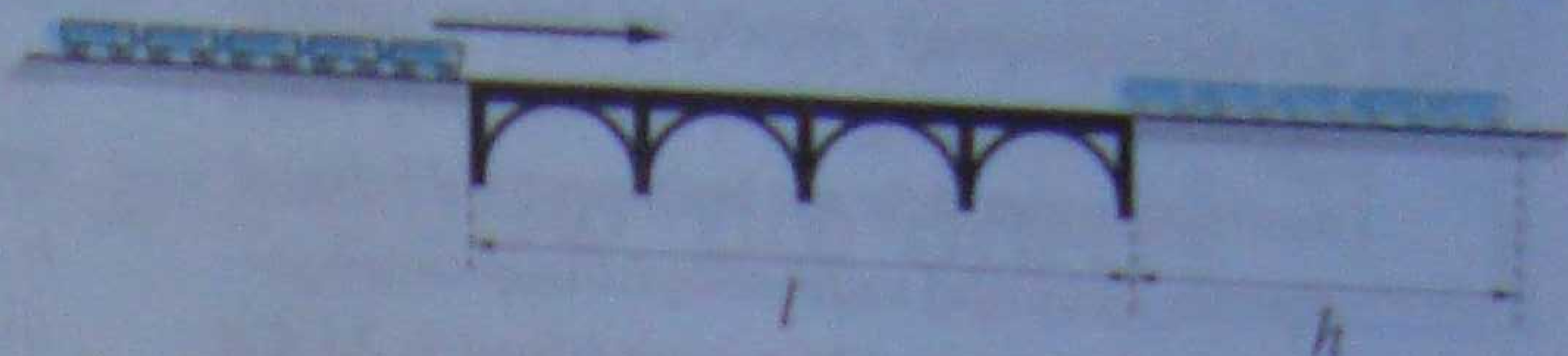
1. *Ի՞նչ են հասկանում, երբ ասում են «մարմնի դիրքը հարաբերական է»:*
2. *Բերե՛ք օրինակ, որից երևա, որ տարբեր հաշվարկման համակարգերում միևնույն մարմինն ունի տարբեր կոորդինատներ:*
3. *Ձևակերպե՛ք տեղափոխությունների գումարման կանոնը:*
4. *Ձևակերպե՛ք արագությունների գումարման կանոնը:*
5. *Ինչի՞ է հավասար երկու մարմիններից յուրաքանչյուրի հարաբերական արագությունը:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Ավտոբուսը մեկնում է Երևանից ժ. 8^{30}-ին և հասնում Նոյեմբերյան ժ.13^{30}-ին: Որոշել ավտոբուսի արագությունը, եթե այդ քաղաքների հեռավորությունը 200 կմ է:*

Լուծում: Ավտոբուսի արագությունը՝ $v = s / t$, որտեղ s-ը քաղաքների հեռավորությունն է, t-ն՝ ամբողջ ճանապարհին ծախսած ժամանակը: Քանի որ ավտոբուսը դուրս է եկել 8^{30}-ին և տեղ հասել 13^{30}-ին, ապա ճանապարհի վրա ծախսել է $t = 5$ժ ժամանակ, ուստի $v = 40$ կմ/ժ :

2. *120 մ երկարությամբ գնացքը, շարժվելով հավասարաչափ՝ 5 մ/վ արագությամբ, մոտենում է 480 մ երկարություն ունեցող կամրջին: Որքա՞ն ժամանակում գնացքը կանցնի կամուրջը:*



Լուծում: Ինչպես երևում է նկարից, կամուրջն անցնելու համար գնացքը պետք է անցնի $s = l + h$ ճանապարհ: Այդ ճանապարհին նրա ծախսած ժամանակը՝ $t = (l + h)/v = 120$ վ:

3. *Գյուղի և քաղաքի l հեռավորությունը 27 կմ է: Քաղաքից և գյուղից միաժամանակ դուրս են գալիս երկու հեծանվորդներ և շարժվում մեկը մյուսին ընդառաջ՝ $v_1 = 8$ մ/վ և $v_2 = 7$ մ/վ արագություններով: Շարժումը սկսելուց ինչքա՞ն ժամանակ հետո նրանք կհանդիպեն:*



Լուծում: Կոորդինատների սկզբնակետ ընտրենք քաղաքը, իսկ ժամանակի հաշվարկման սկիզբ՝ հեծանվորդների դուրս գալու պահը: X կոորդինատային առանցքն ուղղենք առաջին հեծանվորդի շարժման ուղղությամբ: Այդ դեպքում հեծանվորդների շարժման հավասարումները կունենան հետևյալ տեսքը՝

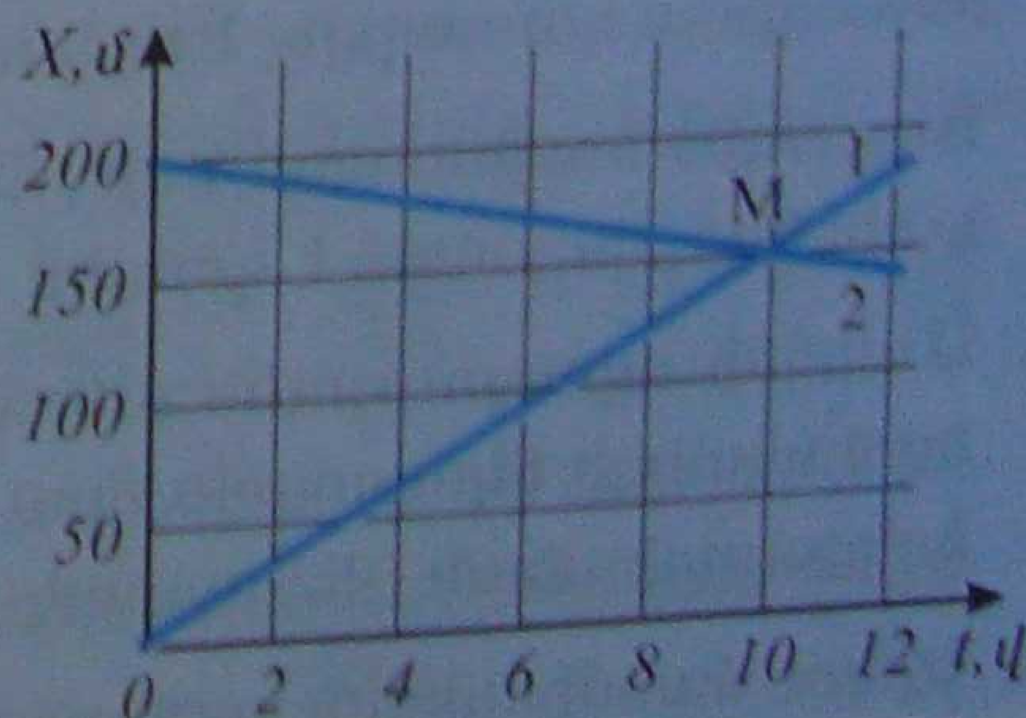
$$x_1 = x_{01} + v_{1x}t, \quad x_2 = x_{02} + v_{2x}t :$$

Առաջին հեծանվորդի x_{01} կոորդինատը հավասար է զրոյի, արագության պրոյեկցիան՝ $v_{1x} = v_1$: Երկրորդ հեծանվորդի x_{02} սկզբնական կոորդինատը հավասար է քաղաքի և գյուղի l հեռավորությանը, իսկ արագության պրոյեկցիան՝ $v_{2x} = -v_2$: Հանդիպման պահին հեծանվորդները գտնվում են տարածության միևնույն կետում, ուստի նրանց կոորդինատներն իրար հավասար են. $x_1 = x_2$ կամ $v_1t = l - v_2t$, որտեղից՝ $t = l/(v_1 + v_2)$:

Ֆիզիկական մեծությունների արժեքները տեղադրելու համար բոլոր մեծությունները պետք է արտահայտել նույն համակարգի, օրինակ, ՄՀ-ի միավորներով: Արագությունները տրված են ՄՀ-ում: Հեռավորությունը, ՄՀ-ի միավորներով արտահայտված, կլինի՝ $l = 27000$ մ, ուստի $t = 1800$ վ $= 30$ ր:

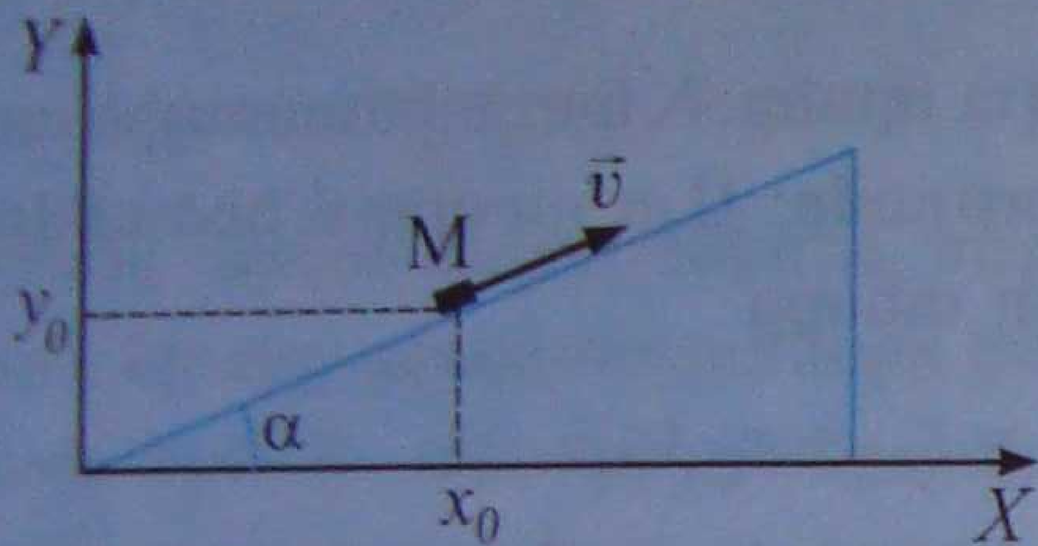
4. *Նկարում պատկերված են X առանցքով շարժվող ավտոբուսի և հեծանվորդի շարժման գրաֆիկները: Օգտվելով այդ գրաֆիկներից՝ գտնել նրանց արագությունները, հանդիպման տեղը և ժամանակը:*

Լուծում: Վերլուծելով 1 գրաֆիկը՝ մենք տեսնում ենք, որ ավտոբուսը դուրս է եկել կոորդինատների սկզբնակետից և 10 վ անց նրա կոորդինատը դարձել է 150 մ: Ուրեմն՝ ավտոբուսը շարժվել է 15 մ/վ արագությամբ: Հեծանվորդը շարժումը սկսել է 200 մ կոորդինատով կետից, 10 վ անց եղել է 150 մ կոորդինատով կետում, ուրեմն՝ նա շարժվել է 5 մ/վ արագությամբ: Գրաֆիկները հատվում են M կետում, որը ճշտանակում է, որ ավտոբուսի և հեծանվորդի հանդիպումը կայացել է հաշվարկման սկզբից 10 վ անց, ավտոբուսի սկզբնական դիրքից 150 մ հեռավորության վրա:



Խնդիրներ

1. *Հավասարաչափ շարժվող երկու ավտոմեքենաներից մեկը 20 վ-ում անցավ նույն ճանապարհը, ինչ որ երկրորդը՝ 15 վ-ում: Որոշել երկրորդ ավտոմեքենայի արագությունը, եթե առաջինը շարժվում է 24 մ/վ արագությամբ:*
2. *Մարմինը v հաստատուն արագությամբ $M(x_0, y_0)$ կետից շարժվում է հորիզոնի նկատմամբ α անկյուն կազմող թեք հարթությամբ դեպի վեր: Գտնել մարմնի x և y կոորդինատների՝ ժամանակից կախումն արտահայտող հավասարումները:*



3. *60° անկյան տակ հատվող ճանապարհներով միևնույն 50 կմ/ժ արագությամբ շարժվող ավտոմեքենաների հեռավորությունը խաչմերուկում հանդիպելուց ինչքա՞ն ժամանակ հետո կդառնա 2 կմ:*
4. *Մի նավահանգստից մյուսը, որոնց հեռավորությունը 120 կմ է, գետի հոսանքի ուղղությամբ ջերմանավն անցնում է 10 ժ-ում և վերադառնում 12 ժ-ում: Որոշել ջերմանավի և գետի հոսանքի արագությունները:*
5. *Երևանից Ստեփանակերտ ուղղաթիռը հանդիպակաց քամու ուղղությամբ անցնում է 40 ր-ում, իսկ Ստեփանակերտից Երևան՝ 1,6 ժ-ում: Երկու դեպքում էլ քամու արագությունը նույնն է եղել: Որոշել ուղղաթիռի արագությունը, եթե քաղաքների հեռավորությունը 200 կմ է:*
6. *Շոգենավը մի նավահանգստից մյուսն անցնում է 6 օրում, վերադառնում՝ 9 օրում: Քանի՞ օրում կանցնի լաստն այդ հեռավորությունը:*
7. *Ապացուցե՛ք, որ միևնույն հեռավորությունը գնալն ու վերադառնալը գետով միշտ ավելի երկար է տևում, քան՝ լճով:*
8. *Երկու ավտոմեքենա շարժվում են 45° անկյուն կազմող փողոցներով, մեկը 30 մ/վ արագությամբ, մյուսը՝ 20 մ/վ: Որոշել ավտոմեքենաների հարաբերական արագությունները:*

ԳԼՈՒԽ 2-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մեխանիկական շարժման ամենապարզ տեսակը նյութական կետի ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումն է:
2. Ուղղագիծ հավասարաչափ կոչվում է այն շարժումը, որի դեպքում ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում մարմինը կատարում է հավասար տեղափոխություններ:
3. Հավասարաչափ շարժում կատարող մարմնի արագությունը հավասար է մարմնի կատարած տեղափոխության հարաբերությանն այն ժամանակամիջոցին, որի ընթացքում կատարվել է այդ տեղափոխությունը:
4. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում մարմնի կոորդինատը, ժամանակից կախված, փոխվում է գծային օրենքով:
5. Մարմնի արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ հավասար է շարժվող համակարգի նկատմամբ նրա արագության և շարժվող համակարգի արագության երկրաչափական (վեկտորական) գումարին:
6. Երկու մարմիններից յուրաքանչյուրի հարաբերական արագությունը հավասար է նրանց արագությունների վեկտորների տարբերությանը:

3 ՈՒՂՂԱԳԻԾ ԱՆՀԱՎԱՍԱՐԱՉԱՓ ՇԱՐԺՈՒՄ

§ 10. Անհավասարաչափ շարժում: Անհավասարաչափ շարժման միջին և ակնթարթային արագություն

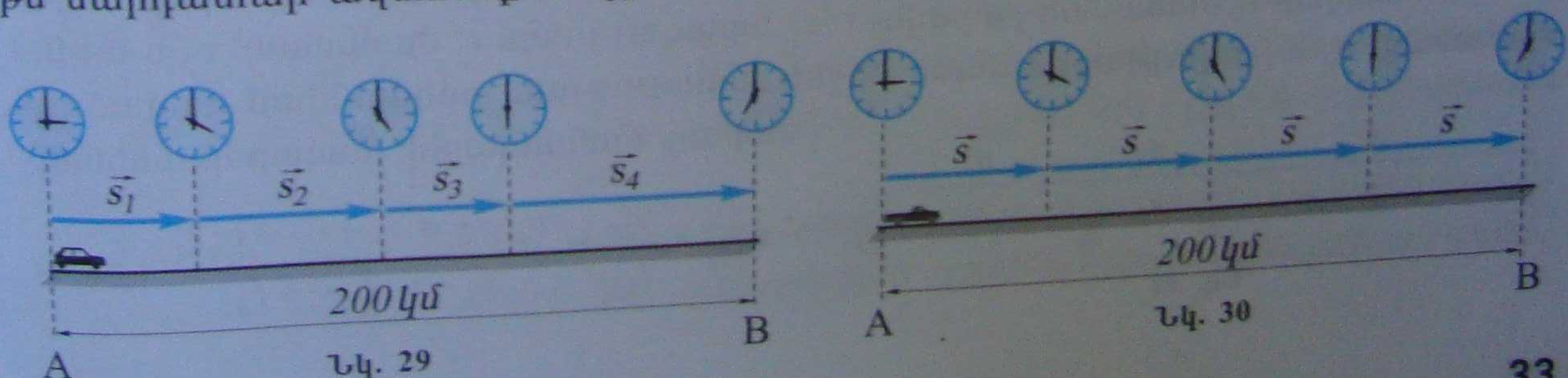
Հաճախ հանդիպում են շարժումներ, երբ հավասար ժամանակամիջոցներում մարմնի տեղափոխությունները տարբեր են: *Այն շարժումը, որի ընթացքում գոնե երկու հավասար ժամանակամիջոցներում մարմինը կատարում է անհավասար տեղափոխություններ, կոչվում է անհավասարաչափ կամ փոփոխական շարժում:*

Սովորաբար, անհավասարաչափ են շարժվում գրեթե բոլոր մարմինները. մարզիկները՝ խաղահրապարակներում, ավտոմեքենաները՝ փողոցներում, գնացքները՝ կայարանին մոտենալիս կամ այնտեղից հեռանալիս, ինքնաթիռները՝ թռիչքուղու վրա և այլն: Փոփոխական շարժման ժամանակ կամայական t ժամանակամիջոցում մարմնի $\vec{s}$ տեղափոխության հարաբերությունն այդ ժամանակամիջոցին այլևս հաստատուն մեծություն չէ և չի կարող բնութագրել փոփոխական շարժումն ընդհանրապես: Ուստի փոփոխական շարժումներն ուսումնասիրելու համար անհրաժեշտ է ներմուծել մի շարք նոր հասկացություններ:

Միջին արագություն: Այն դեպքերում, երբ մեզ հետաքրքրում է մարմնի անհավասարաչափ շարժումը միայն հետագծի որոշակի տեղամասում, որը մարմինն անցել է որոշակի t ժամանակամիջոցում, օգտվում են, այսպես կոչված, միջին արագության հասկացությունից: ***Անհավասարաչափ շարժման միջին արագություն հետագծի որևէ տեղամասում կոչվում է այն ֆիզիկական վեկտորական մեծությունը, որը հավասար է այդ տեղամասը բնութագրող $\vec{s}$ տեղափոխության և t ժամանակամիջոցի հարաբերությանը՝***

$$\vec{v}_{միջ} = \frac{\vec{s}}{t} : \qquad (3.1)$$

Նկ. 29-ում պատկերված է A կետից B կետ ժամանած մարդատար ավտոմեքենայի կատարած տեղափոխությունը յուրաքանչյուր ժամվա ընթացքում: Ինչպես երևում է նկարից, հավասար ժամանակամիջոցներում ավտոմեքենան կատարել է անհավասար տեղափոխություններ և 200 կմ ճանապարհն անցել է 4 ժ-ում: Այժմ պատկերացնենք, թե մարդատար ավտոմեքենայի հետ միաժամանակ նույն երթուղի է դուրս եկել



Նկ. 29

Նկ. 30

բեռնատար ավտոմեքենան և, շարժվելով հավասարաչափ, մարդատարի հետ միաժամանակ հասել է B կետը (նկ. 30): Դա հնարավոր կլինի, եթե բեռնատարը շարժվի 50 կմ/ժ հաստատուն արագությամբ: Հենց այդ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագությունն էլ կոչվում է անհավասարաչափ շարժման միջին արագությունը:

Անհավասարաչափ շարժման միջին արագությունը հավասար է այն հավասարաչափ շարժման արագությանը, որի դեպքում շարժվող մարմինը նույն $\vec{s}$ տեղափոխությունը կատարում է նույն t ժամանակում, ինչ որ անհավասարաչափ շարժման դեպքում:

Իմանալով միջին արագությունը՝ (3.1) բանաձևից կարող ենք որոշել տվյալ t ժամանակամիջոցում մարմնի կատարած տեղափոխությունը՝

$$\vec{s} = \vec{v}_{միջ}t : \quad (3.2)$$

Պետք է հիշել, որ այս բանաձևը ճիշտ արդյունք է տալիս հետագծի միայն այն տեղամասի համար, որի համար որոշված է միջին արագությունը: Եթե, օգտվելով միջին արագության 50 կմ/ժ արժեքից, հաշվենք տեղափոխությունը ոչ թե 4, այլ 2 կամ 3 ժամվա համար, ապա սխալ արդյունք կստանանք: Դա բացատրվում է նրանով, որ 4 ժամվա համար հաշված միջին արագությունը հավասար չէ 2 կամ 3 ժամվա համար հաշված միջին արագությանը:

(3.1) բանաձևով որոշվող միջին արագությունը վեկտորական մեծություն է, ուստի տեղափոխության միջոցով սահմանված միջին արագությունն անվանում են վեկտորական միջին արագություն: Գործնականում ավելի հաճախ օգտագործվում է ճանապարհի միջոցով սահմանվող սկալյար ***միջին ճանապարհային արագությունը***՝ որպես t ժամանակամիջոցում մարմնի անցած s ճանապարհի և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերություն՝

$$v_{միջ} = \frac{s}{t} : \quad (3.3)$$

Միջին ճանապարհային արագությունը փաստորեն այն արագությունն է, որ կունենար մարմինը, եթե, հավասարաչափ շարժվելով, s ճանապարհն անցներ նույն t ժամանակամիջոցում, ինչ որ փոփոխական շարժման դեպքում:

Պետք է նկատի ունենալ, որ սկալյար միջին արագությունը նույնպես կախված է այն տեղամասից, որի համար այն որոշվում է: Օրինակ՝ նկ. 31-ում պատկերված AD ճանապարհի AB հատվածում միջին արագությունը՝ $v_{1միջ}=s_1/t_1$, BC հատվածում՝ $v_{2միջ}=s_2/t_2$, CD հատվածում՝ $v_{3միջ}=s_3/t_3$, իսկ ամբողջ AD ճանապարհի վրա միջին արագությունը՝

$$v_{միջ} = \frac{s_{լր}}{t_{լր}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3},$$

և այն կարող է էապես տարբերվել յուրաքանչյուր տեղամասի միջին արագությունից:

Եթե մարմինը t_1 ժամանակ շարժվել է v_1 արագությամբ, t_2 ժամանակ՝ v_2 և այլն, t_n ժամանակ՝ v_n արագությամբ, ապա, միջին արագության սահմանման համաձայն, ամբողջ ճանապարհի համար կունենանք՝

$$v_{միջ} = \frac{s_{լր}}{t_{լր}} = \frac{v_1t_1 + v_2t_2 + \cdots + v_nt_n}{t_1 + t_2 + \cdots + t_n} \quad (3.4)$$

A s_1 t_1 B s_2 t_2 C s_3 t_3 D

Նկ. 31

Գործնական հետաքրքրություն են ներկայացնում հետևյալ մասնավոր դեպքերը.

1. Մարմինն իրար հաջորդող t_0 հավասար ժամանակամիջոցներում ($t_1 = t_2 = \dots = t_n = t_0$) շարժվել է համապատասխանաբար $v_1, v_2, \dots, v_n$ հաստատուն արագություններով: Այս դեպքում ամբողջ ճանապարհի համար (3.4)-ից որոշվող միջին արագությունը՝

$$v_{միջ} = \frac{v_1 t_0 + v_2 t_0 + \dots + v_n t_0}{n t_0} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}: \qquad (3.5)$$

Մասնավորապես, $n = 2$ դեպքում $v_{միջ} = (v_1 + v_2)/2$: Այսպիսով՝ նշված դեպքում միջին արագությունը համընկնում է արագությունների թվաբանական միջինի հետ:

2. Մարմինն իրար հաջորդող n հավասար s_0 ճանապարհներն անցնում է համապատասխանաբար $v_1, v_2, \dots, v_n$ հաստատուն արագություններով: Այս դեպքում, համաձայն սահմանման՝

$$v_{միջ} = \frac{s}{t} = \frac{n s_0}{s_0/v_1 + s_0/v_2 + \dots + s_0/v_n} = \frac{n}{1/v_1 + 1/v_2 + \dots + 1/v_n}: \qquad (3.6)$$

Մասնավորապես, $n = 2$ դեպքում կունենանք՝ $v_{միջ} = 2v_1 v_2/(v_1 + v_2)$:

Ակնթարթային արագություն: Անհավասարաչափ շարժում կատարող ավտոմեքենայի արագաչափի ցուցմունքը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է (սլաքը տատանվում է): Իսկ ի՞նչ իմաստ ունի տվյալ պահին նրա ցույց տված արագության արժեքը: Եթե այդ պահից հաշված փոքր Δt ժամանակամիջոցում մարմինը կատարի $\Delta\vec{s}$ տեղափոխություն, ապա $\Delta\vec{s}/\Delta t$ հարաբերության, այսինքն՝ միջին արագության մոդուլը քիչ կտարբերվի արագաչափի՝ տվյալ պահին ունեցած ցուցմունքից, ընդ որում, որքան փոքր լինի Δt-ն, այնքան փոքր կլինի այդ տարբերությունը: Սահմանային դեպքում, երբ Δt-ն ձգտում է զրոյի, այդ տարբերությունն էլ է ձգտում զրոյի, այսինքն՝ միջին արագության արժեքը համընկնում է տվյալ պահին (ակնթարթին) արագաչափի ցուցմունքին: ***Մարմնի արագությունը ժամանակի տվյալ պահին կամ հետագծի տվյալ կետում կոչվում է ակնթարթային արագություն***:

Այսպիսով՝ ակնթարթային արագությունը t պահին հավասար է միջին արագությանն այնպիսի բավականաչափ փոքր Δt ժամանակամիջոցում, որն ընդգրկում է տվյալ t պահը՝

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}: \qquad (3.7)$$

Ակնթարթային արագությանը կարելի է տալ նաև այսպիսի մեկնաբանություն: Բավականաչափ փոքր Δt ժամանակամիջոցում մարմնի շարժումը կարելի է համարել ուղղագիծ հավասարաչափ, որի արագությունն էլ ակնթարթային արագությունն է: Այլ կերպ ասած՝ եթե տվյալ պահից սկսած մարմինը շարժվեր ուղղագիծ հավասարաչափ, ապա նրա շարժման արագությունը կհամընկներ այդ պահին մարմնի ակնթարթային արագության հետ:

Այսպիսով՝ մենք ծանոթացանք երեք տիպի արագությունների՝ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագություն, փոփոխական շարժման միջին արագություն և ակնթարթային արագություն:

Գործնական հետաքրքրություն են ներկայացնում հետևյալ մասնավոր դեպքերը.

1. Մարմինն իրար հաջորդող t_0 հավասար ժամանակամիջոցներում ($t_1 = t_2 = \dots = t_n = t_0$) շարժվել է համապատասխանաբար $v_1, v_2, \dots, v_n$ հաստատուն արագություններով: Այս դեպքում ամբողջ ճանապարհի համար (3.4)-ից որոշվող միջին արագությունը՝

$$v_{միջ} = \frac{v_1 t_0 + v_2 t_0 + \dots + v_n t_0}{n t_0} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} : \qquad (3.5)$$

Մասնավորապես, $n = 2$ դեպքում $v_{միջ} = (v_1 + v_2)/2$: Այսպիսով՝ նշված դեպքում միջին արագությունը համընկնում է արագությունների թվաբանական միջինի հետ:

2. Մարմինն իրար հաջորդող n հավասար s_0 ճանապարհներն անցնում է համապատասխանաբար $v_1, v_2, \dots, v_n$ հաստատուն արագություններով: Այս դեպքում, համաձայն սահմանման՝

$$v_{միջ} = \frac{s}{t} = \frac{n s_0}{s_0/v_1 + s_0/v_2 + \dots + s_0/v_n} = \frac{n}{1/v_1 + 1/v_2 + \dots + 1/v_n} : \qquad (3.6)$$

Մասնավորապես, $n = 2$ դեպքում կունենանք՝ $v_{միջ} = 2v_1 v_2/(v_1 + v_2)$:

Ակնթարթային արագություն: Անհավասարաչափ շարժում կատարող ավտոմեքենայի արագաչափի ցուցմունքը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է (սլաքը տատանվում է): Իսկ ի՞նչ իմաստ ունի տվյալ պահին նրա ցույց տված արագության արժեքը: Եթե այդ պահից հաշված փոքր Δt ժամանակամիջոցում մարմինը կատարի $\Delta\vec{s}$ տեղափոխություն, ապա $\Delta\vec{s}/\Delta t$ հարաբերության, այսինքն՝ միջին արագության մոդուլը քիչ կտարբերվի արագաչափի՝ տվյալ պահին ունեցած ցուցմունքից, ընդ որում, որքան փոքր լինի Δt-ն, այնքան փոքր կլինի այդ տարբերությունը: Սահմանային դեպքում, երբ Δt-ն ձգտում է զրոյի, այդ տարբերությունն էլ է ձգտում զրոյի, այսինքն՝ միջին արագության արժեքը համընկնում է տվյալ պահին (ակնթարթին) արագաչափի ցուցմունքին: ***Մարմնի արագությունը ժամանակի տվյալ պահին կամ հետագծի տվյալ կետում կոչվում է ակնթարթային արագություն:***

Այսպիսով՝ ակնթարթային արագությունը t պահին հավասար է միջին արագությանն այնպիսի բավականաչափ փոքր Δt ժամանակամիջոցում, որն ընդգրկում է տվյալ t պահը՝

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t} : \qquad (3.7)$$

Ակնթարթային արագությանը կարելի է տալ նաև այսպիսի մեկնաբանություն: Բավականաչափ փոքր Δt ժամանակամիջոցում մարմնի շարժումը կարելի է համարել ուղղագիծ հավասարաչափ, որի արագությունն էլ ակնթարթային արագությունն է: Այլ կերպ ասած՝ եթե տվյալ պահից սկսած մարմինը շարժվեր ուղղագիծ հավասարաչափ, ապա նրա շարժման արագությունը կհամընկներ այդ պահին մարմնի ակնթարթային արագության հետ:

Այսպիսով՝ մենք ծանոթացանք երեք տիպի արագությունների՝ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագություն, փոփոխական շարժման միջին արագություն և ակնթարթային արագություն:

Մարմնի ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում միջին արագությունը ճանապարհի կամայական հատվածում և ակնթարթային արագությունը ժամանակի ցանկացած պահին հավասար են ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագությանը, ուստի այս շարժման ժամանակ հարկ չկա նշել, թե որ արագության մասին է խոսքը, պարզապես կարելի է ասել արագություն՝ դրա տակ հասկանալով նշված արագություններից ցանկացածը:

Փոփոխական շարժման ակնթարթային արագության մասին խոսելիս ամեն անգամ «ակնթարթային» բառը հատուկ չի նշվում: Միջին արագության մասին խոսելիս «միջին» բառը նշվում է հատուկ, իսկ երբ պարզապես ասում են արագություն, դրա տակ հասկանում են ակնթարթային արագությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում անհավասարաչափ:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում անհավասարաչափ շարժման միջին արագությունը, և ի՞նչ է ցույց տալիս այն:*
3. *Ի՞նչ է ակնթարթային արագությունը:*
4. *Ի՞նչ ուղղություն ունի ակնթարթային արագությունը:*
5. *Ի՞նչ է ցույց տալիս ավտոմեքենայի արագաչափը:*

§ 11. Հավասարաչափ արագացող շարժում: Արագացում: Հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից

Մարմնի անհավասարաչափ շարժման ընթացքում ակնթարթային արագությունը ժամանակից կախված անընդհատ փոփոխվում է: Իսկ ինչպե՞ս հաշվել մարմնի ակնթարթային արագությունը:

Անհավասարաչափ շարժման տարածված տեսակ է այն շարժումը, որի ժամանակ արագությունը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում կրում է միատեսակ փոփոխություն: Այդպիսի շարժում է կատարում, օրինակ, գնդիկը, որը գլորվում է թեք հարթությամբ, քարը, որն ընկնում է որոշ բարձրությունից, կայարանից շարժվող գնացքը և այլն: *Այն շարժումը, որի ժամանակ մարմնի արագությունը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում փոփոխվում է նույն չափով, կոչվում է հավասարաչափ արագացող շարժում:*

Սահմանումից բխում է, որ Δt ժամանակամիջոցում արագության կրած $\Delta\vec{v}$ փոփոխության և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է՝

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = const \, : \qquad (3.8)$$

Վերջինս արագության փոփոխման արագությունն է, որն անվանում են հավասարաչափ արագացող շարժման ***արագացում*** ($\vec{a}$)՝

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = const \, : \qquad (3.9)$$

Եթե արագությունը շարժման սկզբում եղել է $\vec{v}_0$, իսկ t պահին՝ $\vec{v}$, ապա $\Delta\vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$, $\Delta t = t$, հետևաբար՝ արագացումը հավասար կլինի՝

Մարմնի ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում միջին արագությունը ժամանակի ճանապարհի կամայական հատվածում և ակնթարթային արագությունը ժամանակի ցանկացած պահին հավասար են ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագությանը, ուստի այս շարժման ժամանակ հարկ չկա նշել, թե որ արագության մասին է խոսքը, պարզապես կարելի է ասել արագություն՝ դրա տակ հասկանալով նշված արագություններից ցանկացածը:

Փոփոխական շարժման ակնթարթային արագության մասին խոսելիս ամեն անգամ «ակնթարթային» բառը հատուկ չի նշվում: Միջին արագության մասին խոսելիս «միջին» բառը նշվում է հատուկ, իսկ երբ պարզապես ասում են արագություն, դրա տակ հասկանում են ակնթարթային արագությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում անհավասարաչափ:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում անհավասարաչափ շարժման միջին արագությունը, և ի՞նչ է ցույց տալիս այն:*
3. *Ի՞նչ է ակնթարթային արագությունը:*
4. *Ի՞նչ ուղղություն ունի ակնթարթային արագությունը:*
5. *Ի՞նչ է ցույց տալիս ավտոմեքենայի արագաչափը:*

§ 11. Հավասարաչափ արագացող շարժում: Արագացում: Հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից

Մարմնի անհավասարաչափ շարժման ընթացքում ակնթարթային արագությունը ժամանակից կախված անընդհատ փոփոխվում է: Իսկ ինչպե՞ս հաշվել մարմնի ակնթարթային արագությունը:

Անհավասարաչափ շարժման տարածված տեսակ է այն շարժումը, որի ժամանակ արագությունը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում կրում է միատեսակ փոփոխություն: Այդպիսի շարժում է կատարում, օրինակ, գնդիկը, որը գլորվում է թեք հարթությամբ, քարը, որն ընկնում է որոշ բարձրությունից, կայարանից շարժվող գնացքը և այլն: ***Այն շարժումը, որի ժամանակ մարմնի արագությունը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում փոփոխվում է նույն չափով, կոչվում է հավասարաչափ արագացող շարժում:***

Սահմանումից բխում է, որ Δt ժամանակամիջոցում արագության կրած $\Delta\vec{v}$ փոփոխության և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է՝

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = const: \qquad (3.8)$$

Վերջինս արագության փոփոխման արագությունն է, որն անվանում են հավասարաչափ արագացող շարժման ***արագացում*** ($\vec{a}$)՝

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = const} : \qquad (3.9)$$

Եթե արագությունը շարժման սկզբում եղել է $\vec{v}_0$, իսկ t պահին՝ $\vec{v}$, ապա $\Delta\vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$, $\Delta t = t$, հետևաբար՝ արագացումը հավասար կլինի՝

Մարմնի ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում միջին արագությունը ճանապարհի կամայական հատվածում և ակնթարթային արագությունը ժամանակի ցանկացած պահին հավասար են ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման արագությանը, ուստի այս շարժման ժամանակ հարկ չկա նշել, թե որ արագության մասին է խոսքը, պարզապես կարելի է ասել արագություն` դրա տակ հասկանալով նշված արագություններից ցանկացածը:

Փոփոխական շարժման ակնթարթային արագության մասին խոսելիս ամեն անգամ «ակնթարթային» բառը հատուկ չի նշվում: Միջին արագության մասին խոսելիս «միջին» բառը նշվում է հատուկ, իսկ երբ պարզապես ասում են արագություն, դրա տակ հասկանում են ակնթարթային արագությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում անհավասարաչափ:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում անհավասարաչափ շարժման միջին արագությունը, և ի՞նչ է ցույց տալիս այն:*
3. *Ի՞նչ է ակնթարթային արագությունը:*
4. *Ի՞նչ ուղղություն ունի ակնթարթային արագությունը:*
5. *Ի՞նչ է ցույց տալիս ավտոմեքենայի արագաչափը:*

§ 11. Հավասարաչափ արագացող շարժում: Արագացում: Հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից

Մարմնի անհավասարաչափ շարժման ընթացքում ակնթարթային արագությունը ժամանակից կախված անընդհատ փոփոխվում է: Իսկ ինչպե՞ս հաշվել մարմնի ակնթարթային արագությունը:

Անհավասարաչափ շարժման տարածված տեսակ է այն շարժումը, որի ժամանակ արագությունը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում կրում է միատեսակ փոփոխություն: Այդպիսի շարժում է կատարում, օրինակ, գնդիկը, որը գլորվում է թեք հարթությամբ, քարը, որն ընկնում է որոշ բարձրությունից, կայարանից շարժվող գնացքը և այլն: ***Այն շարժումը, որի ժամանակ մարմնի արագությունը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում փոփոխվում է նույն չափով, կոչվում է հավասարաչափ արագացող շարժում:***

Սահմանումից բխում է, որ Δt ժամանակամիջոցում արագության կրած $\Delta\vec{v}$ փոփոխության և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է`

$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = const : \quad (3.8)$$

Վերջինս արագության փոփոխման արագությունն է, որն անվանում են հավասարաչափ արագացող շարժման ***արագացում*** ($\vec{a}$)`

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = const} : \quad (3.9)$$

Եթե արագությունը շարժման սկզբում եղել է $\vec{v}_0$, իսկ t պահին` $\vec{v}$, ապա $\Delta\vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$, $\Delta t = t$, հետևաբար` արագացումը հավասար կլինի`

$$\vec{a}=\frac{\vec{v}-\vec{v}_0}{t} : \qquad (3.10)$$

Արագացման միավորը: (3.10) հավասարումից հետևում է, որ արագացումը հավասար է միավորի, եթե միավորի են հավասար արագության փոփոխությունը և ժամանակամիջոցը: Ուստի, արագացման միավորը ՄՀ-ում կլինի այն հավասարաչափ արագացող շարժման արագացումը, որի դեպքում 1 վ-ում արագությունը փոփոխվում է 1 մ/վ-ով: Հետևաբար, ՄՀ-ում արագացումն արտահայտվում է մետր-վայրկյան-վայրկյանով կամ մետր-քառակուսի վայրկյանով (մ/վ²).

$$[a]=\frac{[v]}{[t]}=\frac{1\,\text{մ/վ}}{1\text{վ}}=1\,\text{մ/վ}^2 :$$

(3.10) հավասարումից ստացվում է հավասարաչափ արագացող շարժման ***առաջին հիմնական հավասարումը***՝ t պահին մարմնի $\vec{v}$ արագության բանաձևը՝

$$\vec{v}=\vec{v}_0+\vec{a}\,t : \qquad (3.11)$$

Հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից: Եթե մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման սկզբնական արագությունը՝ $\vec{v}_0=0$, ապա արագության կախումը ժամանակից կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\vec{v}=\vec{a}t : \qquad (3.12)$$

(3.12) հավասարումից հետևում է, որ ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի շարժման արագության ուղղությունը համընկնում է արագացման ուղղության հետ, այսինքն՝ մարմինը շարժվում է արագացման վեկտորի ուղղությամբ: Սա նշանակում է, որ ***դադարի վիճակից հավասարաչափ արագացող շարժումը միշտ ուղղագիծ շարժում է:***

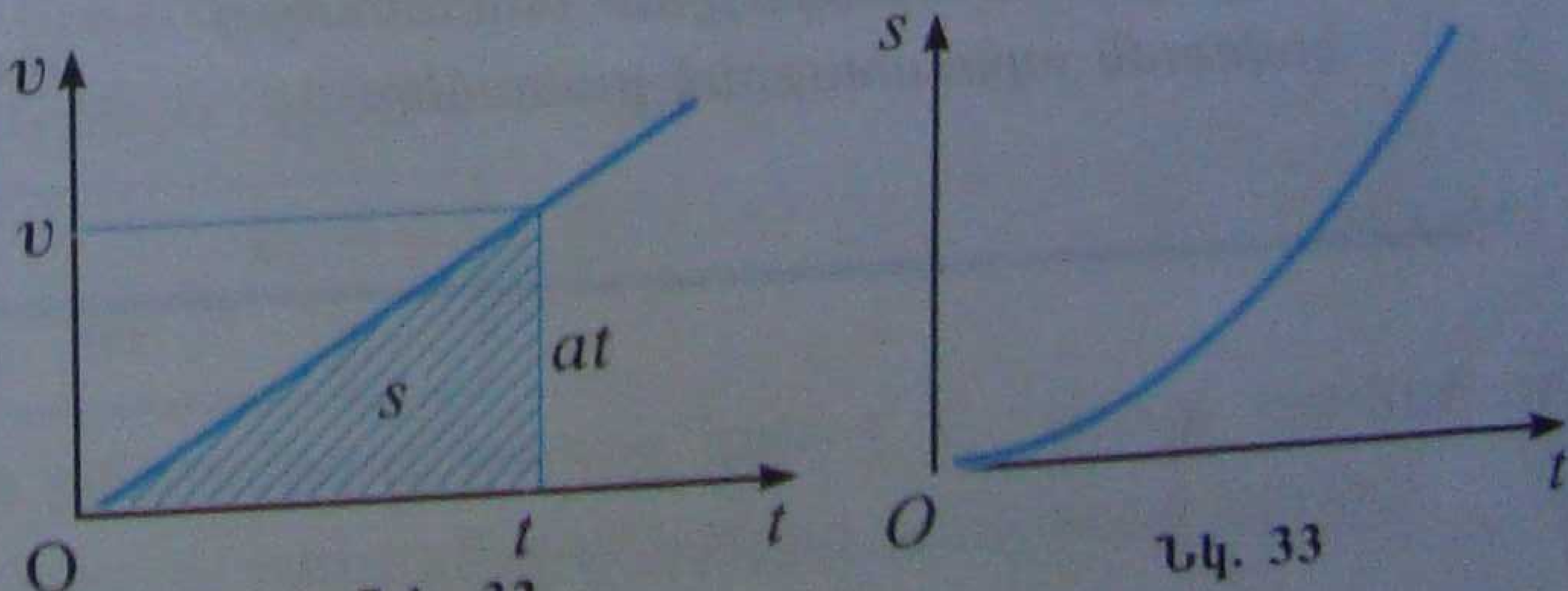
(3.12) հավասարումից մարմնի ճանապարհային արագությունը կլինի՝

$$v=at , \qquad (3.13)$$

այսինքն՝ մարմնի արագությունն ուղիղ համեմատական է շարժման t ժամանակին, ուստի նրա գրաֆիկն ուղիղ գիծ է (նկ.32): Ինչպես նշել ենք § 8-ում, ճանապարհային արագության գրաֆիկով սահմանափակված պատկերի մակերեսը թվապես հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին: Տվյալ դեպքում այդ պատկերն ուղղանկյուն եռանկյուն է, որի մի էջը հավասար է շարժման t ժամանակին, իսկ մյուսը՝ v արագությանը t պահին, այսինքն՝ at: Հետևաբար՝ t ժամանակում մարմնի անցած ճանապարհը հավասար կլինի՝

$$s=\frac{v\cdot t}{2}=\frac{at\cdot t}{2}=\frac{at^2}{2} : \qquad (3.14)$$

Ստացվեց, որ մարմնի անցած ճանապարհն ուղիղ համեմատական է շարժման t ժամանակի քառակուսուն, ուստի նրա գրաֆիկը պարաբոլ է (նկ.33): Շարժումը սկսելուց 1վ հետո արագության մոդուլը թվապես հավասար է արագացման մոդուլին, իսկ տեղափոխության մոդուլը՝ դրա կեսին:



Նկ. 32 Նկ. 33

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}} : \qquad (3.10)$$

Արագացման միավորը: (3.10) հավասարումից հետևում է, որ արագացումը հավասար է միավորի, եթե միավորի են հավասար արագության փոփոխությունը և ժամանակամիջոցը: Ուստի, արագացման միավորը ՄՀ-ում կլինի այն հավասարաչափ արագացող շարժման արագացումը, որի դեպքում 1 վ-ում արագությունը փոփոխվում է 1 մ/վ-ով: Հետևաբար, ՄՀ-ում արագացումն արտահայտվում է մետր-վայրկյան-վայրկյանով կամ մետր-քառակուսի վայրկյանով (մ/վ^2).

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{1 մ/վ}{1վ} = 1 մ/վ^2 :$$

(3.10) հավասարումից ստացվում է հավասարաչափ արագացող շարժման ***առաջին հիմնական հավասարումը***՝ t պահին մարմնի $\vec{v}$ արագության բանաձևը՝

$$\boxed{\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}\,t} : \qquad (3.11)$$

Հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից: Եթե մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման սկզբնական արագությունը՝ $\vec{v}_0 = 0$, ապա արագության կախումը ժամանակից կունենա հետևյալ տեսքը՝

$$\vec{v} = \vec{a}t : \qquad (3.12)$$

(3.12) հավասարումից հետևում է, որ ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի շարժման արագության ուղղությունը համընկնում է արագացման ուղղության հետ, այսինքն՝ մարմինը շարժվում է արագացման վեկտորի ուղղությամբ: Սա նշանակում է, որ ***դադարի վիճակից հավասարաչափ արագացող շարժումը միշտ ուղղագիծ շարժում է***:

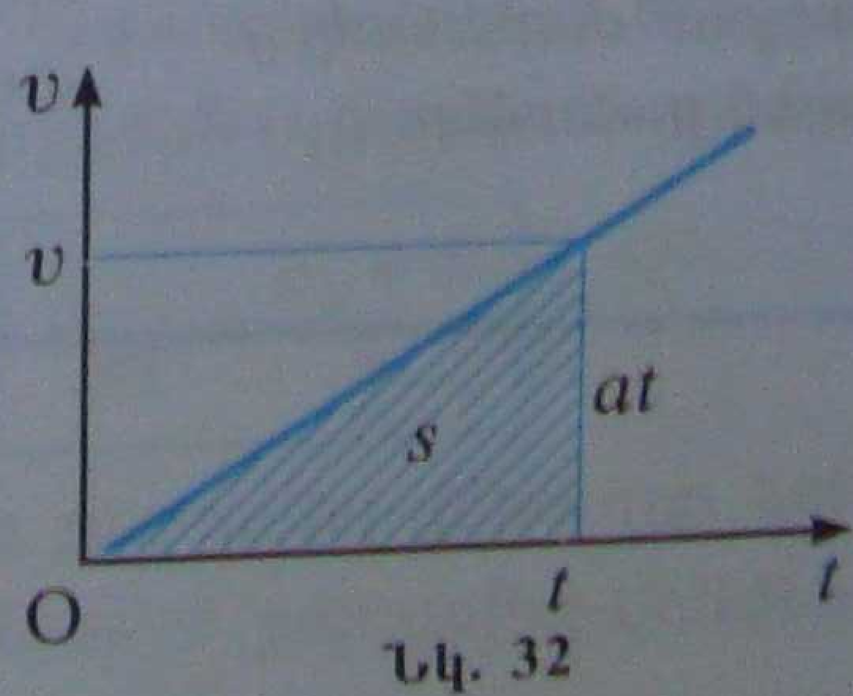
(3.12) հավասարումից մարմնի ճանապարհային արագությունը կլինի՝

$$v = at , \qquad (3.13)$$

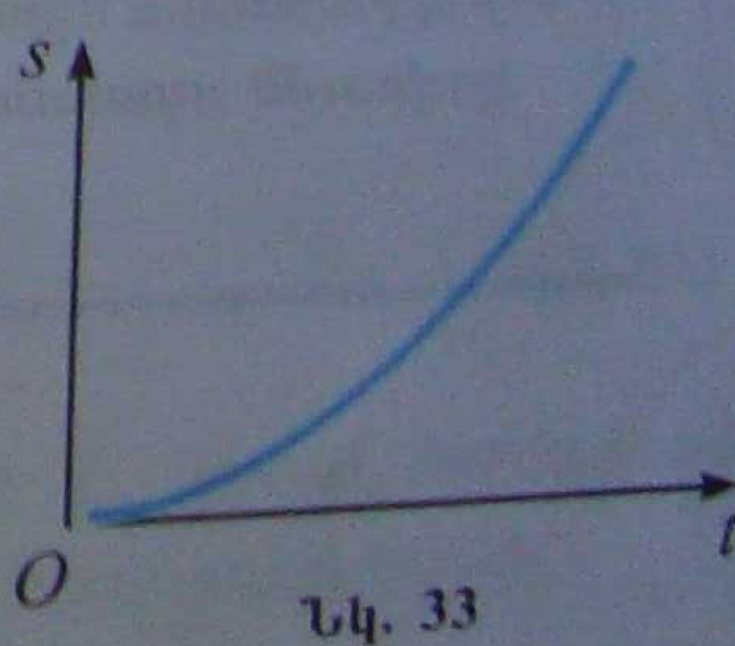
այսինքն՝ մարմնի արագությունն ուղիղ համեմատական է շարժման t ժամանակին, ուստի նրա գրաֆիկն ուղիղ գիծ է (նկ.32): Ինչպես նշել ենք § 8-ում, ճանապարհային արագության գրաֆիկով սահմանափակված պատկերի մակերեսը թվապես հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին: Տվյալ դեպքում այդ պատկերն ուղղանկյուն եռանկյուն է, որի մի էջը հավասար է շարժման t ժամանակին, իսկ մյուսը՝ v արագությանը t պահին, այսինքն՝ at: Հետևաբար՝ t ժամանակում մարմնի անցած ճանապարհը հավասար կլինի՝

$$\boxed{s = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{at^2}{2}} : \qquad (3.14)$$

Ստացվեց, որ մարմնի անցած ճանապարհն ուղիղ համեմատական է շարժման t ժամանակի քառակուսուն, ուստի նրա գրաֆիկը պարաբոլ է (նկ.33): Շարժումը սկսելուց 1վ հետո արագության մոդուլը թվապես հավասար է արագացման մոդուլին, իսկ տեղափոխության մոդուլը՝ դրա կեսին:



Նկ. 32



Նկ. 33

Տեղափոխությունը հավասարաչափ արագացող շարժման դեպքում: Հաշվի առնելով, որ դադարի վիճակից հավասարաչափ արագացող շարժման դեպքում մարմինը շարժվում է ուղիղ գծով, միշտ նույն` արագացման վեկտորի ուղղությամբ, կարող ենք որոշել մարմնի կատարած տեղափոխությունը: Այս դեպքում տեղափոխության մոդուլը հավասար է մարմնի անցած ճանապարհին, իսկ ուղղությունը համընկնում է արագացման վեկտորի ուղղության հետ, հետևաբար`

$$\vec{s} = \frac{\vec{a}t^2}{2} : \qquad (3.15)$$

Սա *t* ժամանակում մարմնի կատարած տեղափոխությունը հաշվելու բանաձևն է և կոչվում է հավասարաչափ արագացող շարժման ***երկրորդ հիմնական հավասարում***:

Հաշվի առնելով (3.12) հավասարումը` (3.15)-ը կարելի է ներկայացնել

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}t}{2} \qquad (3.16)$$

տեսքով: (3.16) հավասարումը համեմատելով միջին արագության սահմանման հետ` կարող ենք եզրակացնել, որ դադարի վիճակից մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման միջին արագությունը շարժման սկզբից հաշված ցանկացած ժամանակամիջոցում հավասար է այդ ժամանակամիջոցի վերջում մարմնի շարժման արագության կեսին`

$$\vec{v}_{միջ} = \frac{\vec{v}}{2} : \qquad (3.17)$$

(3.13) և (3.14) հավասարումներից արտաքսելով *t* ժամանակը` արագության մոդուլը կարող ենք արտահայտել մարմնի կատարած տեղափոխության և արագացման մոդուլների միջոցով.

$$v^2 = 2as : \qquad (3.18)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն է կոչվում հավասարաչափ արագացող:*
2. *Ո՞ր մեծությունն է կոչվում հավասարաչափ արագացող շարժման արագացում:*
3. *Ո՞րն է արագացման միավորը ՄՀ-ում և ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի այն:*
4. *Գրե՛ք մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման արագության` ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևը:*
5. *Ինչի՞ է հավասար մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման միջին արագությունն այն ժամանակամիջոցում, որի ընթացքում արագությունը 0-ից դարձել է v:*
6. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում դադարի վիճակից հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող մարմնի կատարած տեղափոխությունը:*

§ 12. Սկզբնական արագությամբ հավասարաչափ արագացող շարժում: Շարժումների անկախության սկզբունքը

Այժմ ստանանք տեղափոխության բանաձևը, երբ շարժման սկզբում անշարժ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ մարմինն ունի $\vec{v}_0$ սկզբնական արագություն և կատարում է հավասարաչափ արագացող շարժում $\vec{a}$ արագացմամբ: Այդ դեպքում ժամանակի t պահին մարմնի արագությունը`

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t : \qquad (3.19)$$

Մարմնի շարժումը դիտարկենք մի համակարգում, որն առաջինի նկատմամբ շարժվում է $\vec{v}_0$ հաստատուն արագությամբ: Համաձայն արագությունների գումարման բանաձևի` մարմնի $\vec{v}$ արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ հավասար է շարժվող համակարգի նկատմամբ նրա $\vec{v}'$ արագության և շարժվող համակարգի $\vec{v}_0$ արագության գումարին`

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0 : \qquad (3.20)$$

(3.19) և (3.20) հավասարումներից հետևում է, որ շարժվող համակարգի նկատմամբ մարմնի արագության կախումը ժամանակից ունի հետևյալ տեսքը`

$$\vec{v}' = \vec{a}t : \qquad (3.21)$$

Սա նշանակում է, որ շարժվող համակարգի նկատմամբ մարմինը կատարում հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից, ընդ որում, արագացումը երկու հաշվարկման համակարգերում նույնն է:

Միմյանց նկատմամբ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում կատարող բոլոր հաշվարկման համակարգերում արագացումը նույնն է:

Շարժվող համակարգում մարմնի շարժումը սկսվում է դադարի վիճակից, ուստի այդ համակարգում t ժամանակում մարմնի կատարած $\vec{s}'$ տեղափոխությունը կորվի (3.15) բանաձևով: Նույն t ժամանակում շարժվող համակարգը կկատարի $\vec{v}_0 t$ տեղափոխություն, հետևաբար` տեղափոխությունների գումարման բանաձևից անշարժ համակարգի նկատմամբ մարմնի կատարած տեղափոխության համար կստանանք`

$$\boxed{\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}} : \qquad (3.22)$$

(3.22) հավասարման աջ մասում պարզ ձևափոխություններ կատարելով` կստանանք`

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{2\vec{v}_0 t + \vec{a}t^2}{2} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}_0 + \vec{a}t}{2} t = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} t = \vec{v}_{միջ} t : \qquad (3.23)$$

Ուրեմն` մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման ***միջին արագությունը*** ընտրված ժամանակամիջոցում հավասար է այդ տեղամասի սկզբում և վերջում ունեցած արագությունների թվաբանական միջինին (կիսագումարին).

$$\boxed{\vec{v}_{միջ} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2}} : \qquad (3.24)$$

Եթե մարմնի սկզբնական դիրքի շառավիղ-վեկտորը եղել է $\vec{r}_0$, ապա, համաձայն (1.3) արտահայտության, t պահին նրա $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորը հավասար կլինի`

§ 12. Սկզբնական արագությամբ հավասարաչափ արագացող շարժում: Շարժումների անկախության սկզբունքը

Այժմ ստանանք տեղափոխության բանաձևը, երբ շարժման սկզբում անշարժ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ մարմինն ունի $\vec{v}_0$ սկզբնական արագություն և կատարում է հավասարաչափ արագացող շարժում $\vec{a}$ արագացմամբ: Այդ դեպքում ժամանակի t պահին մարմնի արագությունը՝

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t : \qquad (3.19)$$

Մարմնի շարժումը դիտարկենք մի համակարգում, որն առաջինի նկատմամբ շարժվում է $\vec{v}_0$ հաստատուն արագությամբ: Համաձայն արագությունների գումարման բանաձևի՝ մարմնի $\vec{v}$ արագությունն անշարժ համակարգի նկատմամբ հավասար է շարժվող համակարգի նկատմամբ նրա $\vec{v}'$ արագության և շարժվող համակարգի $\vec{v}_0$ արագության գումարին՝

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0 : \qquad (3.20)$$

(3.19) և (3.20) հավասարումներից հետևում է, որ շարժվող համակարգի նկատմամբ մարմնի արագության կախումը ժամանակից ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\vec{v}' = \vec{a}t : \qquad (3.21)$$

Սա նշանակում է, որ շարժվող համակարգի նկատմամբ մարմինը կատարում հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից, ընդ որում, արագացումը երկու հաշվարկման համակարգերում նույնն է:

Միմյանց նկատմամբ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում կատարող բոլոր հաշվարկման համակարգերում արագացումը նույնն է:

Շարժվող համակարգում մարմնի շարժումը սկսվում է դադարի վիճակից, ուստի այդ համակարգում t ժամանակում մարմնի կատարած $\vec{s}'$ տեղափոխությունը կտրվի (3.15) բանաձևով: Նույն t ժամանակում շարժվող համակարգը կկատարի $\vec{v}_0 t$ տեղափոխություն, հետևաբար՝ տեղափոխությունների գումարման բանաձևից անշարժ համակարգի նկատմամբ մարմնի կատարած տեղափոխության համար կստանանք՝

$$\boxed{\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}} : \qquad (3.22)$$

(3.22) հավասարման աջ մասում պարզ ձևափոխություններ կատարելով՝ կստանանք՝

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{2\vec{v}_0 t + \vec{a}t^2}{2} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}_0 + \vec{a}t}{2} t = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} t = \vec{v}_{միջ} t : \qquad (3.23)$$

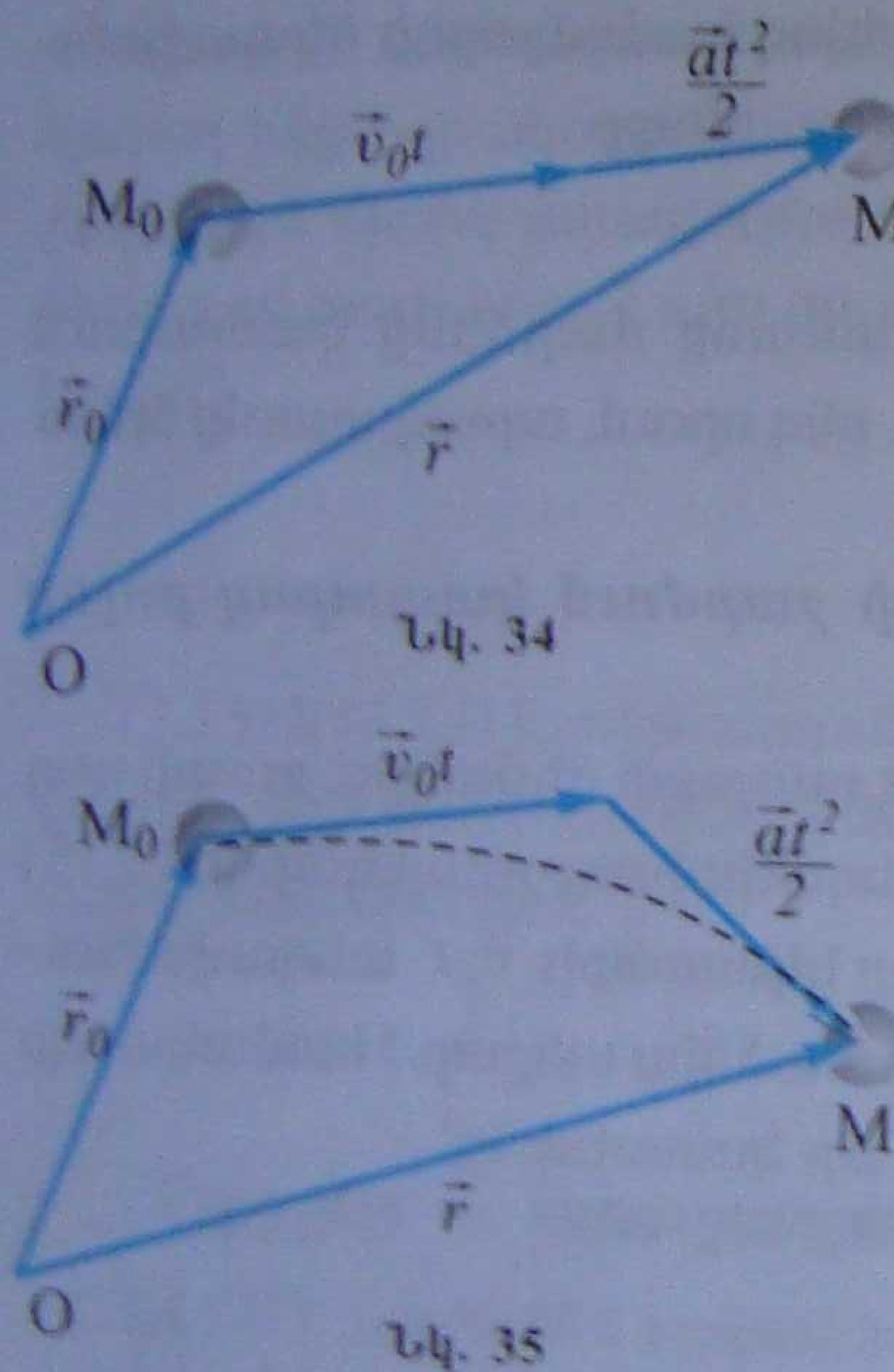
Ուրեմն՝ մարմնի հավասարաչափ արագացող շարժման ***միջին արագությունը*** ցանկացած տեղամասի համար հավասար է այդ տեղամասի սկզբում և վերջում արագությունների թվաբանական միջինին (կիսագումարին).

$$\boxed{\vec{v}_{միջ} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2}} : \qquad (3.24)$$

Եթե մարմնի սկզբնական դիրքի շառավիղ-վեկտորը եղել է $\vec{r}_0$, ապա, համաձայն (1.3) արտահայտության, t պահին նրա $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորը հավասար կլինի՝

$$\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{v}_0t+\frac{\vec{a}t^2}{2}: \quad (3.25)$$

(3.25) հավասարությունը մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումն է հաստատուն արագացմամբ շարժման դեպքում: Այս տեսքն առանձնահատուկ նշանակություն ունի այն պատճառով, որ խնդրի լուծման ժամանակ ոչ մի սահմանափակում չդրվեց մարմնի հետագծի տեսքի վրա: Ավելին՝ (3.25) հավասարությունը հնարավորություն է տալիս պարզելու, թե որ դեպքում հաստատուն արագացմամբ շարժվող մարմնի հետագիծն ուղիղ գիծ կլինի և որ դեպքում՝ կոր: Իրոք, (3.25) հավասարումներից երևում է, որ եթե մարմնի շարժման արագացումը և սկզբնական արագությունն ուղղված են մի ուղղով, ապա այդ ուղղով են ուղղված նաև արագությունը և տեղափոխությունը ժամանակի ցանկացած պահին: Իսկ դա նշանակում է, որ մարմինը շարժվում է նույն ուղղով, այսինքն՝ մարմնի շարժման հետագիծն ուղիղ գիծ է (նկ. 34): Եթե մարմնի շարժման արագացումը և սկզբնական արագությունն ուղղված չեն մի ուղղով, ապա արագության ուղղությունն անընդհատ փոխվում է՝ մարմինը կատարում է կորագիծ շարժում (նկ. 35):



Նկ. 34

Նկ. 35

Նկատենք, որ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման հավասարումները ստացվում են հավասարաչափ արագացող շարժման հավասարումներից, եթե դրանց մեջ տեղադրենք $\vec{a}=0$, $\vec{v}_0=\vec{v}$: Իրոք, այդ դեպքում (3.25) հավասարումից՝

$$\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{v}t: \quad (3.26)$$

Վերջապես, եթե ստացված հավասարումների մեջ արագությունն էլ տեղադրենք զրո, ապա կստանանք, այսպես կոչված, ***դադարը*** նկարագրող հավասարումը՝

$$\vec{r}=\vec{r}_0: \quad (3.27)$$

Այս հավասարությունը ցույց է տալիս, որ մարմինը տեղից չի շարժվել և շարունակում է մնալ սկզբնական դիրքում:

Հաշվի առնելով (3.26) և (3.27) հավասարումները՝ (3.25) բանաձևով որոշված շառավիղ-վեկտորի մասին կարելի է ասել հետևյալը. առաջին գումարելին համապատասխանում է $\vec{r}_0$ կետում դադարի վիճակին: Երկրորդ գումարելին ցույց է տալիս, թե մարմինն ինչքան կտեղաշարժվեր այդ կետից, եթե շարժվեր հավասարաչափ՝ $\vec{v}_0$ հաստատուն արագությամբ: Երրորդ գումարելին արագացմամբ պայմանավորված ուղումն է: Այսպիսով, կարելի է համարել, որ մարմինը միաժամանակ կատարում է մի քանի ***անկախ*** շարժումներ՝

ա) հավասարաչափ շարժում $\vec{v}_0$ արագությամբ,

բ) հավասարաչափ արագացող շարժում դադարի վիճակից $\vec{a}$ արագացմամբ:

Ընդ որում, արդյունարար շարժման տեղափոխությունը հավասար է առանձին շարժումների ընթացքում մարմնի կատարած տեղափոխությունների վեկտորական գումարին: Տեղափոխությունների գումարման կանոնից բխող այս պնդումը կոչվում է ***շարժումների անկախության սկզբունք***:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Հաստատուն արագացմամբ շարժման հետագիծն ի՞նչ պայմանի դեպքում է ուղիղ գիծ:
2. Գրե՛ք սկզբնական արագությամբ հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող մարմնի արագության, տեղափոխության և շառավիղ-վեկտորի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևերը:
3. Ի՞նչն են անվանում շարժումների անկախության սկզբունք:

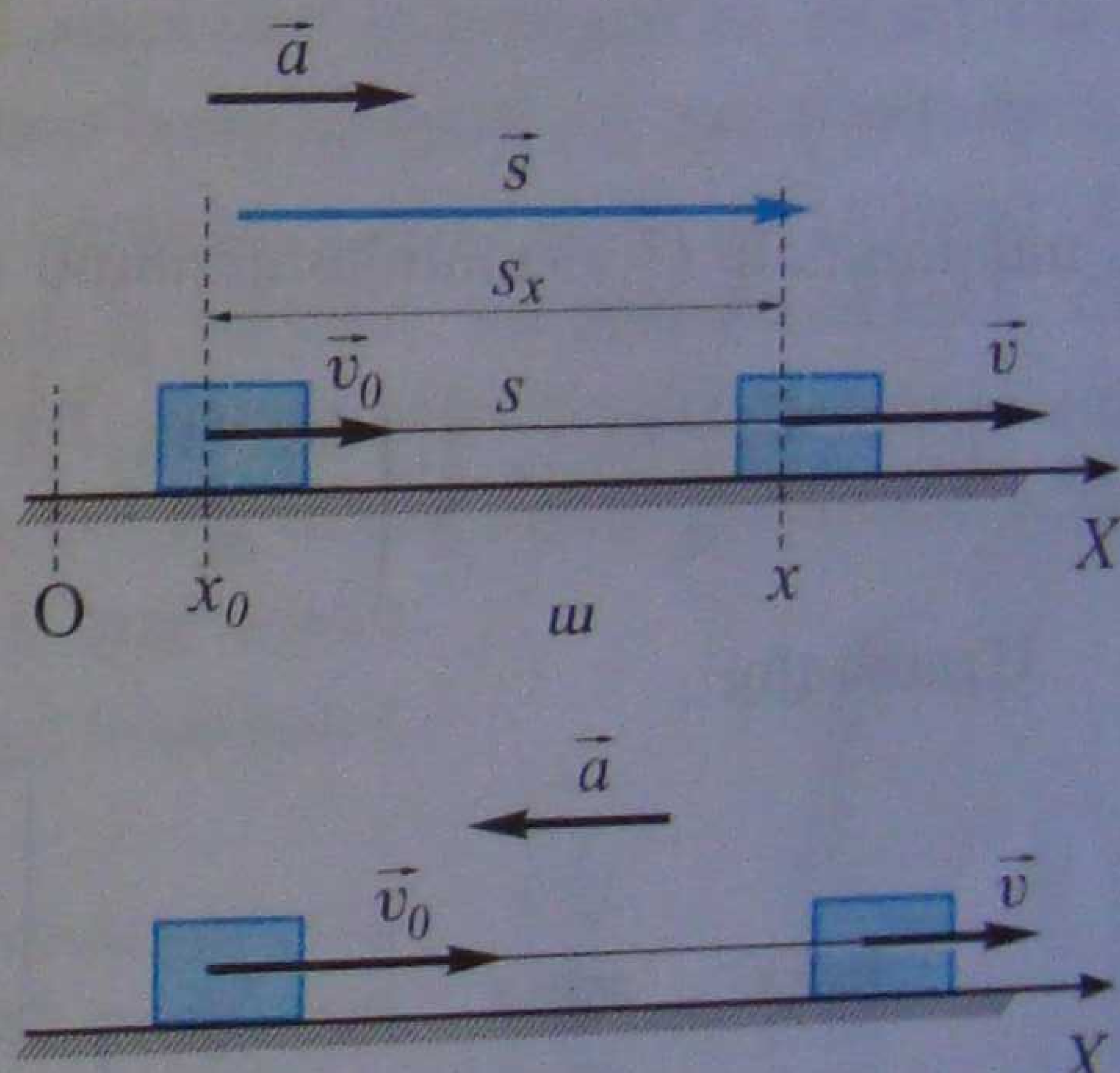
§ 13. Սկզբնական արագությամբ ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում

Ուղղագիծ շարժման դեպքում հարմար է օգտվել այն հավասարումներից, որոնց մեջ մտնում են ոչ թե վեկտորներ, այլ կոորդինատային առանցքների վրա դրանց ունեցած պրոյեկցիաները: Ուղղագիծ շարժման դեպքում $\vec{a}$, $\vec{v}_0$, $\vec{v}$ և $\vec{s}$ վեկտորներն ուղղված են մի ուղղի երկայնքով: Հենց այդ ուղղի երկայնքով էլ հարմար է ուղղել կոորդինատային (օրինակ՝ X) առանցքը (նկ. 36):

Ինչպես գիտենք, մի քանի վեկտորների գումարի պրոյեկցիան որևէ առանցքի վրա հավասար է նույն առանցքի վրա դրանց պրոյեկցիաների գումարին: Եթե $\vec{a}$, $\vec{v}_0$, $\vec{v}$ և $\vec{s}$ վեկտորների պրոյեկցիաները X առանցքի վրա նշանակենք համապատասխանաբար a_x, v_{0x}, v_x և s_x, ապա հավասարաչափ արագացող շարժման հիմնական հավասարումներից կլինեն՝

$$v_x = v_{0x} + a_x t \quad , \qquad (3.28)$$

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} : \qquad (3.29)$$



Նկ. 36

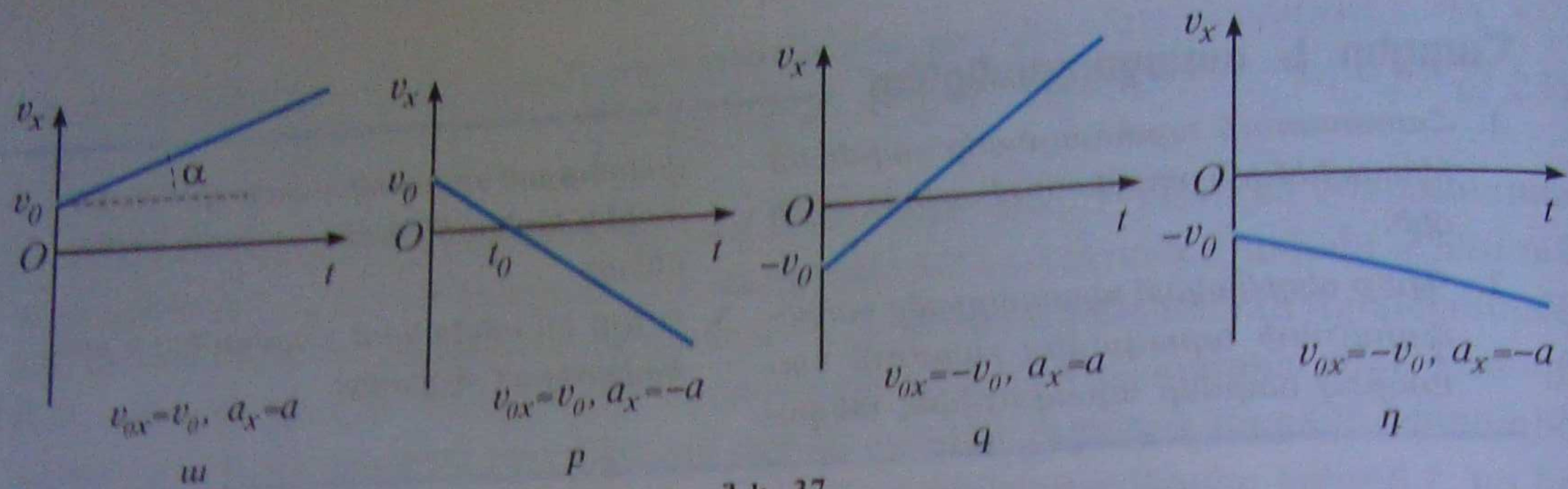
Ըստ (1.3) բանաձևի՝ ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի x կոորդինատը գտնելու համար պետք է սկզբնական x_0 կոորդինատին գումարել մարմնի տեղափոխության վեկտորի s_x պրոյեկցիան X կոորդինատային առանցքի վրա՝

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} : \qquad (3.30)$$

Հենց այս բանաձևով են որոշում ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող մարմնի դիրքը ժամանակի ցանկացած պահին:

Քանի որ $\vec{a}$, $\vec{v}_0$, $\vec{v}$ և $\vec{s}$ չորս վեկտորներն էլ գտնվում են միևնույն ուղղի (X առանցքի) վրա, ապա դրանց պրոյեկցիաների մոդուլները հավասար են վեկտորների մոդուլներին, իսկ պրոյեկցիաների նշանները որոշելու համար պետք է ելնել նրանից, թե կոորդինատային առանցքի նկատմամբ ինչպես են ուղղված այդ վեկտորները:

Արագության v_x պրոյեկցիան t-ից կախված է գծայնորեն և, կախված a_x-ի և v_{0x}-ի նշաններից, նրա գրաֆիկը կունենա նկ. 37-ում պատկերված 4 տեսքերից մեկը:



Նկ. 37

Արագության պրոյեկցիայի գրաֆիկի՝ t առանցքի հետ կազմած անկյան տանգենսը, տրված մասշտաբի դեպքում, համեմատական է արագացման վեկտորի պրոյեկցիային.

$$tg\alpha \sim a_x :$$

(3.28) և (3.29) հավասարումներով որոշվում են մարմնի արագությունը և տեղափոխությունը ժամանակի t պահին, երբ հայտնի են սկզբնական արագությունը և արագացումը: Այդ հավասարումներից արտաքսելով t ժամանակը՝ կստանանք բանաձևեր, որոնք թույլ են տալիս որոշել տեղափոխությունը, երբ հայտնի չէ, թե ինչքան ժամանակ է անցել շարժման սկզբից, բայց հայտնի են մարմնի սկզբնական և վերջնական արագությունները, ինչպես նաև արագացումը՝ հետագծի ցանկացած կետում: Իրոք, եթե (3.28) հավասարումից գտնենք t ժամանակը՝

$$t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x},$$

և տեղադրենք (3.29) հավասարման մեջ, կստանանք՝

$$s_x = v_{0x} \cdot \frac{v_x - v_{0x}}{a_x} + \frac{a_x}{2}\left(\frac{v_x - v_{0x}}{a_x}\right)^2 = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}\left(v_{0x} + \frac{v_x - v_{0x}}{2}\right) = \frac{(v_x - v_{0x})(v_x + v_{0x})}{2a_x}:$$

Այստեղից՝

$$\boxed{s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}}, \qquad (3.31)$$

$$\boxed{v_x^2 - v_{0x}^2 = 2a_x s_x}: \qquad (3.32)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ո՞ր բանաձևով է որոշվում ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող մարմնի դիրքը ժամանակի ցանկացած պահին:
2. Ե՞րբ է արագության մոդուլը ժամանակի ընթացքում
   ա) աճում, բ) նվազում:
3. Ի՞նչ ճանապարհ է անցնում նվազող արագությամբ շարժում կատարող մարմինը մինչև կանգ առնելը:
4. Մարմնի $\vec{v}_0$ սկզբնական արագությունն ուղղված է X առանցքի դրական ուղղությամբ: Մարմինն x_0 կոորդինատով կետից շարժվում է սկզբնական արագությանը հակառակ ուղղված և հաստատուն $\vec{a}$ արագացմամբ: Գտնել նրա կոորդինատի առավելագույն արժեքը:

§ 14. Մարմինների ազատ անկումը: Ազատ անկման արագացում

Հաստատուն արագացմամբ շարժման հետաքրքրական օրինակ է մարմինների ազատ անկումը Երկրի մակերևույթի վրա, երբ նրանք շարժվում են միայն Երկրի ձգողության ազդեցությամբ:

Մարմինների ազատ անկումն ուսումնասիրել է Գալիլեյը: Նա պարզել է, որ ազատ անկումը հաստատուն արագացմամբ շարժում է: Ազատ անկման արագացումն ուղղված է ուղղաձիգ դեպի վար և բացարձակ արժեքով մոտավորապես 9,8 մ/վ^2 է:

Առանձնապես զարմանալի և երկար ժամանակ հանելուկային է եղել այն փաստը, որ ***ազատ անկման արագացումը նույնն է բոլոր մարմինների համար***:

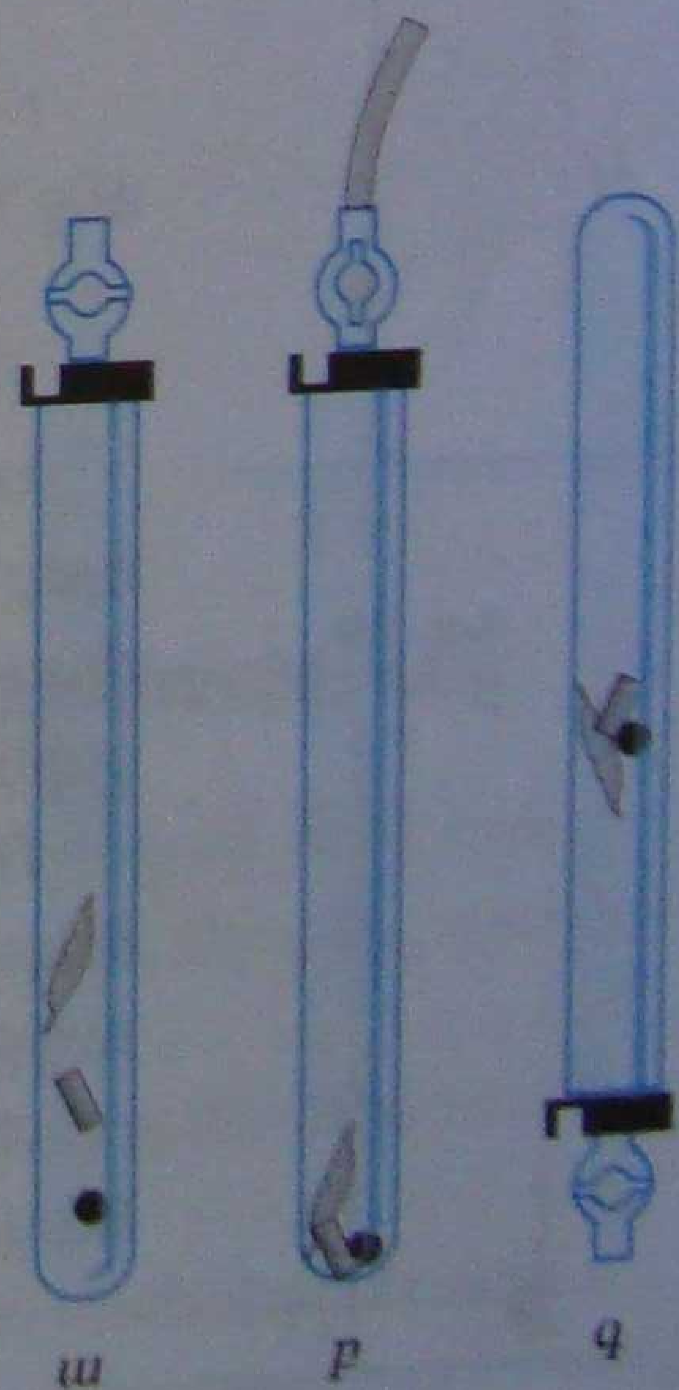
Եթե վերցնենք պողպատե գունդ, ֆուտբոլի գնդակ, բացված լրագիր, փետուր և այդ տարասեռ առարկաները մի քանի մետր բարձրությունից բաց թողնենք ու հետևենք դրանց շարժումներին, ապա կտեսնենք, որ այդ մարմինների արագացումները տարբեր են: Դա բացատրվում է նրանով, որ գետնին ընկնելիս այդ մարմիններն անցնում են օդի միջով, որը խանգարում է նրանց շարժմանը: Իսկ ի՞նչ արագացումներով կընկնեն մարմինները անօդ տարածության մեջ: Հարցին պատասխանելու համար կատարենք փորձ մոտ 1 մետր երկարությամբ և հաստ պատերով ապակե խողովակով, որի մի ծայրը զոդված է, իսկ մյուսը փակված է ծորակով: Խողովակի մեջ տեղավորենք երեք տարբեր առարկաներ. օրինակ՝ կապարե կոտորակ, խցան և փետուր: Եթե խողովակն արագ շրջենք, ապա երեք առարկաներն էլ կընկնեն խողովակի հատակին, բայց ոչ միաժամանակ. նախ՝ կընկնի կոտորակը, հետո՝ խցանը, ապա նոր՝ փետուրը (նկ. 38,*ա*): Բայց մարմիններն այդպես են ընկնում այն դեպքում, երբ խողովակում օդ կա: Բավական է միայն օդը հանել պոմպով (նկ. 38,*բ*) և, փակելով ծորակը, կրկին շրջել խողովակը (նկ. 38,*գ*), որպեսզի համոզվենք, որ երեք մարմիններն էլ ընկնում են միաժամանակ: Հետևաբար, օդի բացակայությամբ բոլոր մարմիններն էլ ընկնում են նույն արագացմամբ:

Որպեսզի ազատ անկումը տարբերեն մյուս բոլոր արագացող շարժումներից, ընդունված է ազատ անկման արագացումն *a*-ի փոխարեն նշանակել g տառով: Այսպիսով, $\vec{g}$ վեկտորը միշտ ուղղված է դեպի ներքև, իսկ նրա մոդուլը՝ g ≈ 9,8 մ/վ^2:

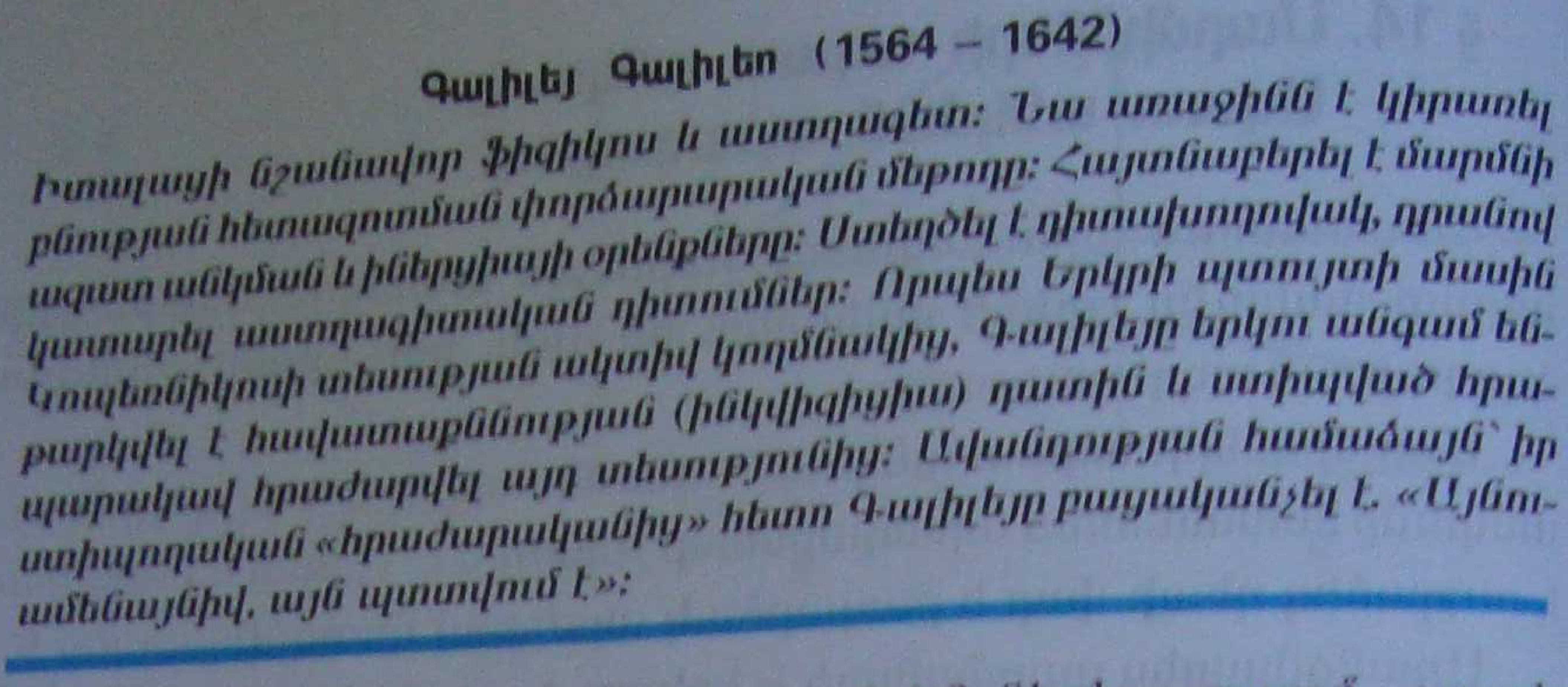
Քանի որ ազատ անկումը հաստատուն արագացմամբ շարժում է, ապա այդ շարժման կինեմատիկական հավասարումներն ունեն հետևյալ տեսքը՝

$$\vec{v}=\vec{v}_0+\vec{g}t\,,\quad \vec{r}=\vec{r}_0+\vec{v}_0t+\frac{\vec{g}t^2}{2}\,: \qquad (3.33)$$

Հայտնի է, որ հավասարաչափ արագացող շարժման հետագիծն ուղիղ գիծ է, եթե մարմնի սկզբնական արագությունը հավասար է զրոյի՝ $v_0=0$ կամ մարմնի սկզբնական արագությունն ու արագացումն ուղղված են միևնույն ուղղով: Առաջին դեպքում մարմինն առանց սկզբնական արագության ընկնում է ինչ-որ բարձրությունից, իսկ երկրորդ դեպքում մարմինը նետված է ուղղաձիգ ուղղությամբ:



Նկ. 38



Գալիլեյ Գալիլեո (1564 – 1642)

Իտալացի նշանավոր ֆիզիկոս և աստղագետ: Նա առաջինն է կիրառել բնության հետազոտման փորձարարական մեթոդը: Հայտնաբերել է մարմնի ազատ անկման և իներցիայի օրենքները: Ստեղծել է դիտափողովակ, դրանով կատարել աստղագիտական դիտումներ: Որպես Երկրի պտտույտի մասին Կոպեռնիկոսի տեսության ակտիվ կողմնակից, Գալիլեյը երկու անգամ են-թարկվել է հավատաքննության (ինկվիզիցիա) դատին և ստիպված հրա-պարակավ հրաժարվել այդ տեսությունից: Ավանդության համաձայն՝ իր ստիպողական «հրաժարականից» հետո Գալիլեյը բացականչել է. «Այնու-ամենայնիվ, այն պտտվում է»:

Երկու դեպքն էլ գործնական մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում, ուստի մանրամասնորեն ուսումնասիրենք առաջին դեպքը և երկրորդ դեպքի մասնավոր մի խնդիր, երբ մարմինը գետնից նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր:

Ազատ անկում առանց սկզբնական արագության: Դիցուք՝ մարմինն առանց սկզբնական արագության ընկնում է H բարձրությունից: Այս դեպքում կոորդինատային առանցքը հարմար է ուղղել ուղղաձիգ դեպի ներքև, հաշվարկման սկզբնակետը վերցնել այնտեղ, որտեղից մարմինը սկսում է անկումը ($\vec{r}_0 = 0$) (նկ. 39): $\vec{v}$ և $\vec{g}$ վեկտորների պրոյեկցիաները հավասար են իրենց մոդուլներին, ուստի շարժման կինեմատիկական հավասարումները կընդունեն հետևյալ պարզ տեսքը՝

$$v_y = gt\,, \quad y = \frac{gt^2}{2}\,: \qquad (3.34)$$

Որոշենք, թե ինչքան ժամանակից հետո մարմինը կհասնի գետնին և ինչ արագու-թյուն կունենա գետնին հարվածելու պահին:

Գետնին ընկնելու պահին մարմնի y կոորդինատը հավասարվում է H-ի, ուստի, ըստ (3.33) հավասարման՝

$$H = \frac{gt^2}{2} \quad \text{և} \quad t = \sqrt{\frac{2H}{g}}\,: \qquad (3.35)$$

O

H

Y

Նկ. 39

t-ի այս արտահայտությունը տեղադրելով (3.34) հավասարման մեջ՝ կստանանք մարմնի արագությունը գետնին ընկնելու պահին.

$$v = \sqrt{2gH}\,: \qquad (3.36)$$

Եթե տրված է t ժամանակը, ապա (3.35) բանաձևից կարելի է որոշել, թե ինչ բարձրությունից է ընկել մարմինը: Օրինակ՝ կամրջի վրայից փոքրիկ քարի կտոր նետելով և վայրկենաչափով չափելով ջրին հասնելու ժամանակը, կարելի է որոշել կամրջի բարձրությունը:

Y

H

O

Նկ. 40

Ուղղաձիգ դեպի վեր նետված մարմնի շարժումը: Այս դեպքում էլ մարմինը շարժվում է միայն OY առանցքով, և հարմար է այդ առանցքն ուղղել դեպի վեր՝ սկզբնակետն ընտրելով գետնի վրա (նկ. 40):

Հաշվի առնելով, որ $v_{0y} = v_0$, $g_y = -g$, $y_0 = 0$, մարմնի շարժման հավասարումները կգրենք հետևյալ տեսքով՝

$$v_y = v_0 - gt\,, \quad y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}\,: \qquad (3.37)$$



Գալիլեյ Գալիլեո (1564 – 1642)

Իտալացի նշանավոր ֆիզիկոս և աստղագետ: Նա առաջինն է կիրառել բնության հետազոտման փորձարարական մեթոդը: Հայտնաբերել է մարմնի ազատ անկման և իներցիայի օրենքները: Ստեղծել է դիտախողովակ, դրանով կատարել աստղագիտական դիտումներ: Որպես Երկրի պտույտի մասին Կոպեռնիկոսի տեսության ակտիվ կողմնակից, Գալիլեյը երկու անգամ եկեղեցական ինկվիզիցիայի դատին է ենթարկվել: Ավանդության համաձայն` իր պարտավոր հրաժարվել այդ տեսությունից: Ավանդության համաձայն` իր «հրաժարականից» հետո Գալիլեյը բացականչել է. «Այնուամենայնիվ, այն պտտվում է»:

Երկու դեպքն էլ գործնական մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում, ուստի մանրամասնորեն ուսումնասիրենք առաջին դեպքը և երկրորդ դեպքի մասնավոր մի խնդիր, երբ մարմինը գետնից նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր:

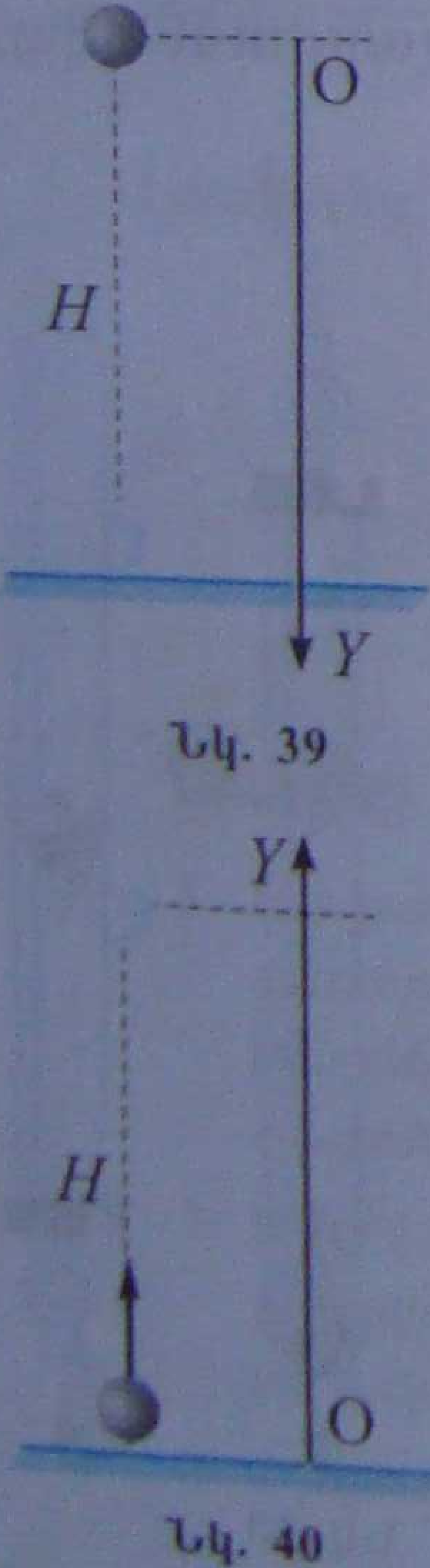
Ազատ անկում առանց սկզբնական արագության: Դիցուք` մարմինն առանց սկզբնական արագության ընկնում է H բարձրությունից: Այս դեպքում կոորդինատային առանցքը հարմար է ուղղել ուղղաձիգ դեպի ներքև, հաշվարկման սկզբնակետը վերցնել այնտեղ, որտեղից մարմինը սկսում է անկումը ($\vec{r}_0 = 0$) (նկ. 39): $\vec{v}$ և $\vec{g}$ վեկտորների պրոյեկցիաները հավասար են իրենց մոդուլներին, ուստի շարժման կինեմատիկական հավասարումները կընդունեն հետևյալ պարզ տեսքը`

$$v_y = gt\,, \quad y = \frac{gt^2}{2}\,: \tag{3.34}$$

Որոշենք, թե ինչքան ժամանակից հետո մարմինը կհասնի գետնին և ինչ արագություն կունենա գետնին հարվածելու պահին:

Գետնին ընկնելու պահին մարմնի y կոորդինատը հավասարվում է H-ի, ուստի, ըստ (3.33) հավասարման`

$$H = \frac{gt^2}{2} \quad \text{և} \quad t = \sqrt{\frac{2H}{g}}\,: \tag{3.35}$$



Նկ. 39

Նկ. 40

t-ի այս արտահայտությունը տեղադրելով (3.34) հավասարման մեջ` կստանանք մարմնի արագությունը գետնին ընկնելու պահին.

$$v = \sqrt{2gH}\,: \tag{3.36}$$

Եթե տրված է t ժամանակը, ապա (3.35) բանաձևից կարելի է որոշել, թե ինչ բարձրությունից է ընկել մարմինը: Օրինակ` կամրջի վրայից փոքրիկ քարի կտոր նետելով և վայրկենաչափով չափելով ջրին հասնելու ժամանակը, կարելի է որոշել կամրջի բարձրությունը:

Ուղղաձիգ դեպի վեր նետված մարմնի շարժումը: Այս դեպքում էլ մարմինը շարժվում է միայն OY առանցքով, և հարմար է այդ առանցքն ուղղել դեպի վեր` սկզբնակետն ընտրելով գետնի վրա (նկ. 40):

Հաշվի առնելով, որ $v_{0y} = v_0$, $g_y = -g$, $y_0 = 0$, մարմնի շարժման հավասարումները կգրենք հետևյալ տեսքով`

$$v_y = v_0 - gt\,, \quad y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}\,: \tag{3.37}$$

Հետագծի ամենաբարձր կետում մարմինը մի պահ կանգ է առնում, հետևաբար՝ վերելքի t_1 ժամանակը կգտնենք, եթե (3.37) հավասարման մեջ տեղադրենք $v_y = 0$ կամ $v_y = v_0 - gt_1 = 0$, որտեղից՝

$$\boxed{t_1 = \frac{v_0}{g}}\ : \tag{3.38}$$

t_1 պահին մարմնի y կոորդինատը համընկնում է նրա առավելագույն H բարձրության հետ, հետևաբար, եթե (3.37) հավասարման մեջ տեղադրենք $t_1 = v_0/g$ արտահայտությունը, H բարձրության համար կստանանք՝

$$\boxed{H = \frac{v_0^2}{2g}}\ : \tag{3.39}$$

Թռիչքի ամբողջ t_0 ժամանակը (թռիչքի տևողություն) կգտնենք այն պայմանից, որ գետնին ընկնելու պահին $y = 0$, հետևաբար (3.37) հավասարումից կստանանք՝

$$v_0 t_0 - \frac{gt_0^2}{2} = 0\ ,$$

որտեղից՝

$$\boxed{t_0 = \frac{2v_0}{g}}\ : \tag{3.40}$$

Մարմնի արագությունը գետնին ընկնելու պահին կգտնենք՝ (3.37) հավասարման մեջ տեղադրելով թռիչքի տևողության համար ստացված (3.40) արտահայտությունը՝

$$v_y = v_0 - gt_0 = -v_0,$$

այսինքն՝ մարմինը գետնին է ընկնում մոդուլով նույն արագությամբ, ինչ արագությամբ որ նետվել է, իսկ «−» նշանը ցույց է տալիս, որ այն փոխել է շարժման ուղղությունը:

Վայրէջքի t_2 ժամանակը կգտնենք՝ թռիչքի ամբողջ ժամանակից հանելով վերելքի t_1 ժամանակը՝

$$t_2 = t_0 - t_1 = \frac{v_0}{g} = t_1\ ,$$

այսինքն՝ վերելքի և վայրէջքի ժամանակներն իրար հավասար են:

§ 15. Լաբորատոր աշխատանք N 1. Հավասարաչափ արագացող շարժման ուսումնասիրումը

Աշխատանքի նպատակը. 1. Ցույց տալ, որ փայտե չորսուն թեք դրված տախտակի վրայով սահելիս կատարում է հավասարաչափ արագացող շարժում: 2. Որոշել չորսուի արագացումը:

Չափամիջոցներ. 1. վայրկենաչափ կամ էլեկտրոնային ժամացույց (0÷30 ք սանդղակով և 0,2 վ բաժանման արժեքով):

Նյութեր և սարքեր. 1. փայտե նեղ տախտակ (1 մ երկարությամբ) սանտիմետրական բաժանումներով, 2. փայտե չորսուներ, 3. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով:



Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ջրսուն տեղադրել տախտակի վրա և տախտակը բերել մինչև այն պահը, երբ ջրսուն կսկսի շարժվել: Ամրակալանի միջոցով ամրակայել տախտակի այդ դիրքը:

2. Ջրսուն տեղադրել տախտակի վերին կետում և չափել 1 վ-ում ջրսուի անցած s_1 ճանապարհը:

3. Այնուհետև փորձը կրկնել` չափելով ջրսուի անցած s_2, s_3, s_4 ճանապարհները 2 վ-ում, 3 վ-ում և 4 վ-ում:

4. Համոզվել, որ $s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 1 : 4 : 9 : 16$:

5. Գտնել արագացման a_1, a_2, a_3, a_4 արժեքները $a = 2s/t^2$ բանաձևով և հաշվել միջին արագացումը` $a_{միջ}$:

6. Չափման և հաշվարկի արդյունքները գրել աղյուսակում.

Փորձի համարը	*s, մ*	*t, վ*	*a, մ/վ²*	*$a_{միջ}$, մ/վ²*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Հրթիռը, դուրս գալով դադարի վիճակից, շարժվում է a = 60 մ/վ² արագացմամբ: Ի՞նչ արագություն է այն ձեռք բերում s = 750 մ ճանապարհի վերջում:***

Լուծում: Քանի որ մարմինը շարժվում է դադարի վիճակից, և տրված են նրա արագացումն ու անցած ճանապարհը, ապա հարմար է օգտվել (3.18) բանաձևից`

$$v = \sqrt{2as} = 300 \text{ մ/վ} :$$

2. ***Դադարի վիճակից հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող մարմինը շարժման 5-րդ վայրկյանում անցնում է 36 մ ճանապարհ: Որոշել նրա շարժման արագացումը:***

Լուծում: Դիցուք` մարմինը շարժումը սկսում է A կետից և $t_4 = 4$վ հետո եղել է B կետում, իսկ դրանից 1 վ հետո, այսինքն` շարժումը սկսելուց $t_5 = 5$վ հետո` C կետում: 5-րդ վայրկյանին նրա անցած ճանապարհը BC հատվածի երկարությունն է: Ինչպես երևում է նկարից, $s =$ AC−AB: Դադարի վիճակից հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող մարմնի` t ժամանակում անցած ճանապարհը որոշվում է (3.14) բանաձևով: AB հատվածը մարմինն անցել է t_4 ժամանակում, իսկ AC հատվածը` $t_5$ ժամանակում, հետևաբար`



$$s = \frac{at_5^2}{2} - \frac{at_4^2}{2} \text{ , որտեղից` } a = \frac{2s}{t_5^2 - t_4^2} = 8 \text{ մ/վ}^2 :$$

3. *Մարմինը կատարում է 2 մ/վ սկզբնական արագությամբ և 0,4 մ/վ² արագացմամբ ուղղագիծ շարժում: Գտնել այդ մարմնի շարժման միջին արագությունը շարժման առաջին 8 վ-ի ընթացքում:*

Լուծում: Մարմնի շարժման արագությունը $t = 8$ վ պահին կարելի է որոշել $v = v_0 + at$ բանաձևով: Հավասարաչափ արագացող շարժման միջին արագությունը հավասար է սկզբնական և վերջնական արագությունների կիսագումարին, ուստի`

$$v_{միջ} = \frac{v_0 + v}{2} = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} = v_0 + \frac{at}{2} = 3{,}6 \text{ մ/վ}:$$

4. *Տրված է մարմնի շարժման օրենքը` $x = 40t - 0{,}1t^2$: Ժամանակի հաշվարկի սկզբից որքա՞ն ժամանակ հետո մարմինը կանգ կառնի:*

Լուծում: Մարմնի շարժման օրենքը համեմատելով հավասարաչափ արագացող շարժման` $x = x_0 + v_{0x}t + a_xt^2/2$ օրենքի հետ` եզրակացնում ենք, որ սկզբնական պահին մարմինը գտնվել է կոորդինատների սկզբնակետում, ունեցել է առանցքի դրական ուղղությամբ ուղղված 40 մ/վ սկզբնական արագություն և կատարել է հավասարաչափ արագացող շարժում: Ընդ որում, արագացման պրոյեկցիան x առանցքի վրա` $a_x = -0{,}2$ մ/վ²: Ուրեմն` t պահին արագության պրոյեկցիան հավասար է $v_x = v_{0x} + a_xt = 40 - 0{,}2t$: Այն պահին, երբ մարմինը կանգ է առնում, $v_x = 0$, ուրեմն` $40 - 0{,}2t = 0$, որտեղից` $t = 200$ վ:

Խնդիրներ

1. *Մինչև նշանակված կետը ձգվող ճանապարհի առաջին կեսն ավտոբուսն անցավ 50 կմ/ժ արագությամբ, իսկ երկրորդ կեսը` 60 կմ/ժ արագությամբ: Գտնել ավտոբուսի շարժման միջին արագությունն ամբողջ ճանապարհին:*
2. *Արշավախումբը երթուղու վրա ծախսված ամբողջ ժամանակամիջոցի առաջին կեսում շարժվել է 6 կմ/ժ արագությամբ, իսկ երկրորդ կեսում` 4 կմ/ժ արագությամբ: Ինչի՞ է հավասար արշավախմբի միջին արագությունն ամբողջ շարժման ընթացքում:*
3. *Մարմնի շարժման ամբողջ ժամանակը բաժանված է n հավասար ժամանակամիջոցների: Մարմինը շարժվում է այնպես, որ այդ ժամանակամիջոցներից յուրաքանչյուրում նրա արագությունները համապատասխանաբար հավասար են $v_1, v_2, \ldots, v_n$: Հաշվել մարմնի շարժման միջին արագությունն ամբողջ ճանապարհին:*
4. *Դահուկորդը սկսում է ցած սահել սարի գագաթից: Ի՞նչ արագություն ձեռք կբերի նա շարժումը սկսելուց 20 վ անց և ինչքա՞ն ճանապարհ կանցնի այդ ընթացքում, եթե իջնում է 0,5 մ/վ² արագացմամբ:*
5. *Մոտոցիկլավարը, շարժվելով դադարի վիճակից, մայրուղու 1 կմ երկարությամբ հատվածն անցնում է 0,8 մ/վ² արագացմամբ: Որոշել հատվածն անցնելու ժամանակը և արագությունը` հատվածի վերջում:*
6. *Երկու ավտոմեքենա շարժվեցին կանգառից, մեկը մյուսից 10 վ հետո: I ավտոմեքենայի դուրս գալուց որքա՞ն ժամանակ հետո II ավտոմեքենան կհասնի առաջինին, եթե երկուսն էլ կատարում են հավասարաչափ արագացող շարժում, ընդ որում, II-ի արագացումը 4 անգամ մեծ է առաջինի արագացումից:*
7. *Հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող գնացքի արագությունն ինչքա՞ն ժամանակում է աճել 12 կմ/ժ-ից մինչև 60 կմ/ժ, եթե այդ ընթացքում գնացքն անցել է 800 մ ճանապարհ:*

3. *Մարմինը կատարում է 2 մ/վ սկզբնական արագությամբ և 0,4 մ/վ² արագացմամբ ուղղագիծ շարժում: Գտնել այդ մարմնի շարժման միջին արագությունը շարժման առաջին 8 վ-ի ընթացքում:*

Լուծում: Մարմնի շարժման արագությունը $t = 8$ վ պահին կարելի է որոշել $v = v_0 + at$ բանաձևով: Հավասարաչափ արագացող շարժման միջին արագությունը հավասար է սկզբնական և վերջնական արագությունների կիսագումարին, ուստի՝

$$v_{միջ} = \frac{v_0 + v}{2} = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} = v_0 + \frac{at}{2} = 3,6 \text{ մ/վ}:$$

4. *Տրված է մարմնի շարժման օրենքը՝ $x = 40t - 0,1t^2$: Ժամանակի հաշվարկի սկզբից որքա՞ն ժամանակ հետո մարմինը կանգ կառնի:*

Լուծում: Մարմնի շարժման օրենքը համեմատելով հավասարաչափ արագացող շարժման՝ $x = x_0 + v_{0x}t + a_x t^2/2$ օրենքի հետ՝ եզրակացնում ենք, որ սկզբնական պահին մարմինը գտնվել է կոորդինատների սկզբնակետում, ունեցել է առանցքի դրական ուղղությամբ ուղղված 40 մ/վ սկզբնական արագություն և կատարել է հավասարաչափ արագացող շարժում: Ընդ որում, արագացման պրոյեկցիան x առանցքի վրա՝ $a_x = -0,2$ մ/վ²: Ուրեմն՝ t պահին արագության պրոյեկցիան հավասար է $v_x = v_{0x} + a_x t = 40 - 0,2t$: Այն պահին, երբ մարմինը կանգ է առնում, $v_x = 0$, ուրեմն՝ $40 - 0,2t = 0$, որտեղից՝ $t = 200$ վ:

Խնդիրներ

1. *Մինչև նշանակված կետը ծգվող ճանապարհի առաջին կեսն ավտոբուսն անցավ 50 կմ/ժ արագությամբ, իսկ երկրորդ կեսը՝ 60 կմ/ժ արագությամբ: Գտնել ավտոբուսի շարժման միջին արագությունն ամբողջ ճանապարհին:*

2. *Արշավախումբը երթուղու վրա ծախսված ամբողջ ժամանակամիջոցի առաջին կեսում շարժվել է 6 կմ/ժ արագությամբ, իսկ երկրորդ կեսում՝ 4 կմ/ժ արագությամբ: Ինչի՞ է հավասար արշավախմբի միջին արագությունն ամբողջ շարժման ընթացքում:*

3. *Մարմնի շարժման ամբողջ ժամանակը բաժանված է **n** հավասար ժամանակամիջոցների: Մարմինը շարժվում է այնպես, որ այդ ժամանակամիջոցներից յուրաքանչյուրում նրա արագությունները համապատասխանաբար հավասար են $v_1, v_2, \dots, v_n$: Հաշվել մարմնի շարժման միջին արագությունն ամբողջ ճանապարհին:*

4. *Դահուկորդը սկսում է սահել սարի գագաթից: Ի՞նչ արագություն ձեռք կբերի նա շարժումը սկսելուց 20 վ անց և ինչքա՞ն ճանապարհ կանցնի այդ ընթացքում, եթե իջնում է 0,5 մ/վ² արագացմամբ:*

5. *Մոտոցիկլավարը, շարժվելով դադարի վիճակից, մայրուղու 1 կմ երկարությամբ հատվածն անցնում է 0,8 մ/վ² արագացմամբ: Որոշել հատվածն անցնելու ժամանակը և արագությունը՝ հատվածի վերջում:*

6. *Երկու ավտոմեքենա շարժվեցին կանգառից, մեկը մյուսից 10 վ հետո: I ավտոմեքենայի դուրս գալուց որքա՞ն ժամանակ հետո II ավտոմեքենան կհասնի առաջինին, եթե երկուսն էլ կատարում են հավասարաչափ արագացող շարժում, ընդ որում, II-ի արագացումը 4 անգամ մեծ է առաջինի արագացումից:*

7. *Հավասարաչափ արագացող շարժում կատարող գնացքի արագությունն ինչքա՞ն ժամանակում է աճել 12 կմ/ժ-ից մինչև 60 կմ/ժ, եթե այդ ընթացքում գնացքն անցել է 800 մ ճանապարհ:*

8. *Հաստատուն արագացմամբ շարժվող մարմինը 24 մ հեռավորությունն անցավ 2 վ-ում, իսկ հաջորդ 24 մ երկարությամբ հատվածը՝ 4 վ-ում: Որոշել մարմնի արագացման պրոյեկցիան շարժման ուղղության վրա:*

9. *Կայարանից հաշված՝ ի՞նչ հեռավորության վրա պետք է միացնել 54 կմ/ժ արագությամբ շարժվող գնացքի արգելակները, եթե այդ պահին այն շարժվում է 0,1 մ/վ² արագացմամբ:*

10. *54 կմ/ժ արագությամբ հարավից դեպի հյուսիս գնացող մարմինը սկսում է շարժվել հաստատուն՝0,2 մ/վ² արագացմամբ, որն ուղղված է սկզբնական արագությանը հակառակ ուղղությամբ: Որոշել մարմնի դիրքը 3 ր հետո և այդ ընթացքում նրա անցած ճանապարհը:*

11. *Ինչքա՞ն ժամանակում 20 մ բարձրության կամրջից առանց սկզբնական արագության ընկնող քարը կհասնի ջրի մակերևույթին: Ի՞նչ սկզբնական արագություն պետք է հաղորդել քարին, որպեսզի այն հասնի ջրի մակերևույթին 1 վ-ում:*

12. *Մարմինն ազատ ընկնում է 80 մ բարձրությունից: Ինչի՞ է հավասար նրա տեղափոխության մոդուլն անկման վերջին վայրկյանում:*

13. *Աղեղից ուղղաձիգ դեպի վեր արձակված նետն ընկավ գետնին 6 վ հետո: Ինչքա՞ն են նետի սկզբնական արագությունը և վերելքի առավելագույն բարձրությունը:*

14. *Գետնից 25 մ բարձրության վրա գտնվող պատշգամբից գնդակը նետեցին ուղղաձիգ դեպի վեր 20 մ/վ արագությամբ: Գրել y կոորդինատի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևը, հաշվարկման սկզբնակետ ընդունելով գետնի մակերևույթը, և որոշել, թե ինչքան ժամանակ հետո գնդակը կընկնի գետնին:*

ԳԼՈՒԽ 3-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մեխանիկական շարժման ամենատարածված տեսակն անհավասարաչափ շարժումն է: Այդ շարժման հետագծի որևէ տեղամաս կարելի է բնութագրել միջին արագությամբ:

2. Անհավասարաչափ շարժման գլխավոր առանձնահատկությունն արագության փոփոխվելն է ժամանակի ընթացքում: Ժամանակի ցանկացած պահին արագությունը գտնելու համար պետք է իմանալ նրա փոփոխման արագությունը, այսինքն՝ արագացումը:

3. Մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումն ընթանում է յուրահատուկ «շղթայով». նյութական կետի շառավիղ-վեկտորը գտնելու համար պետք է իմանալ այդ կետի շարժման արագությունը ժամանակի ցանկացած պահին, իսկ վերջինս հնարավոր է որոշել, եթե հայտնի է արագացումը:

4 ԿՈՐԱԳԻԾ ՇԱՐԺՈՒՄ



§ 16. Արագությունը և արագացումը կորագիծ շարժման դեպքում: Կորագիծ հավասարաչափ շարժում

Բնության մեջ և տեխնիկայում առավել հաճախ հանդիպում են շարժումներ, որոնց հետագծերը ոչ թե ուղիղներ են, այլ կոր գծեր: Այդպիսի շարժումները կոչվում են *կորագիծ*: Տիեզերական տարածության մեջ կոր հետագծերով են շարժվում մոլորակներն ու արհեստական արբանյակները, իսկ Երկրի վրա՝ բոլոր փոխադրամիջոցների, մեքենաների և մեխանիզմների մասերը, գետերի ջրերը, մթնոլորտի օդը և այլն:

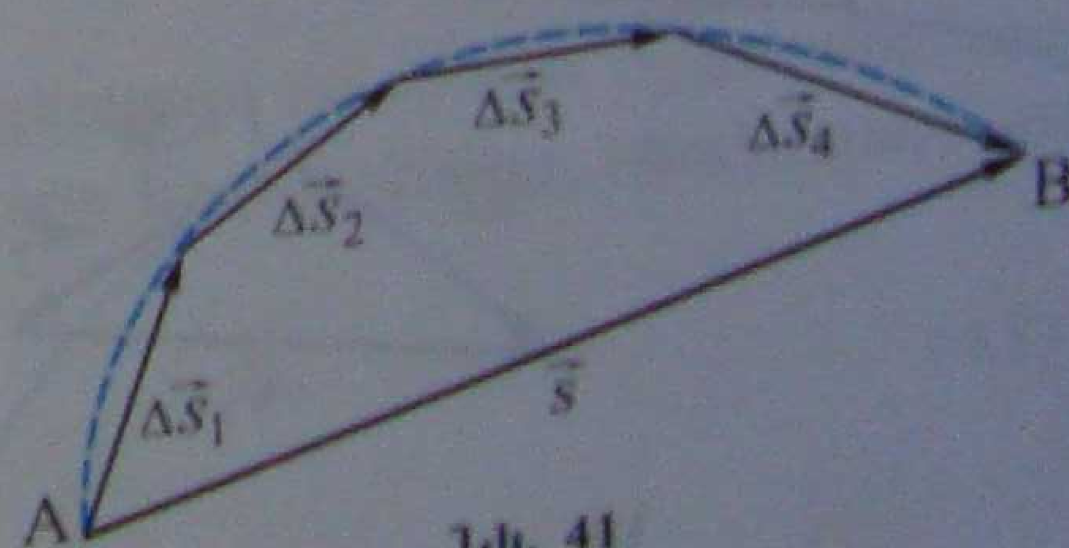
Արագությունը կորագիծ շարժման դեպքում: Ակնթարթային արագության § 10-ում տրված սահմանումը վերաբերում է ինչպես ուղղագիծ, այնպես էլ կորագիծ շարժումներին, այսինքն՝ կորագիծ շարժման ***ակնթարթային արագություն կոչվում է ժամանակի տվյալ պահին կամ հետագծի տվյալ կետում մարմնի արագությունը:*** Ակնթարթային արագությունը հավասար է մարմնի շարժման միջին արագությանը այն անվերջ փոքր Δt ժամանակամիջոցում, որն ընդգրկում է տվյալ t պահը՝

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}, \tag{4.1}$$

որտեղ $\Delta \vec{s}$ -ն անվերջ փոքր Δt ժամանակամիջոցում մարմնի կատարած տեղափոխությունն է:

Ուղղագիծ շարժման դեպքում արագության վեկտորի ուղղությունը համընկնում է տեղափոխության ուղղության հետ: Պարզենք, թե ինչ ուղղություն ունի կորագիծ շարժման ակնթարթային արագությունը:

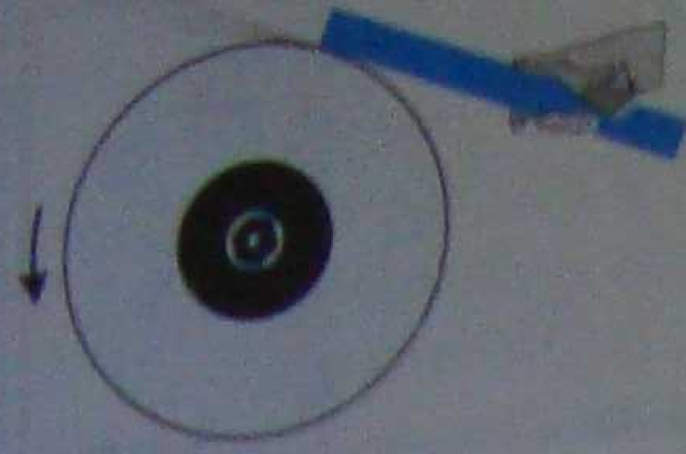
Ենթադրենք՝ նկ.41-ում կետագծով պատկերված հետագծով մարմինը A կետից տեղափոխվել է B կետը: Դիտարկենք այս կորագիծ շարժումը փոքր ժամանակահատվածներում: Ինչքան փոքր վերցնենք դիտարկվող ժամանակահատվածները, այնքան հետագծի յուրաքանչյուր տեղամաս քիչ կտարբերվի համապատասխան լարից, իսկ մարմնի շարժումը՝ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումից: Բացի դրանից, լարը գործնականում չի տարբերվի տվյալ տեղամասի ցանկացած կետում հետագծին տարված շոշափողից: Ուստի՝ ***կորագիծ շարժման դեպքում ակնթարթային արագությունը հետագծի ցանկացած կետում ուղղված է այդ կետում հետագծին տարված շոշափողի երկայնքով:***



Նկ. 41

Դրանում կարելի է համոզվել, օրինակ, հետևելով սրոցաքարի աշխատանքին (նկ. 42,ա): Երբ պտտվող սրոցաքարին սեղմենք պողպատե ձողի

ծայրը, ապա սրոցաքարից պոկվող շիկացած մասնիկները կերևան կայծերի տեսքով: Այդ մասնիկները թռչում են այն արագությամբ, որով օժտված են եղել սրոցաքարից պոկվելու պահին: Լավ երևում է, որ կայծերի թռիչքի ուղղությունը միշտ համընկնում է շրջանագծի այն կետով տարված շոշափողի հետ, որտեղից պոկվել են մասնիկները:





Նկ. 42

Շրջանագծին տարված շոշափողով են շարժվում նաև ավտոմեքենայի տեղապտույտ տվող անիվից պոկված ցեխաջրի ցայտերը (նկ. 42,բ):

Յուրաքանչյուր ժամանակահատվածում մարմնի կատարած տեղափոխությունը կարելի է հաշվել $\Delta\vec{s} = \vec{v}\Delta t$ բանաձևով. $\Delta\vec{s}_1 = \vec{v}_1\Delta t_1$, $\Delta\vec{s}_2 = \vec{v}_2\Delta t_2$, $\Delta\vec{s}_3 = \vec{v}_3\Delta t_3$ և այլն: Գումարելով այդ բոլոր տեղափոխությունները՝ կստանանք մարմնի տեղափոխությունն ամբողջ շարժման ընթացքում՝

$$\vec{s} = \Delta\vec{s}_1 + \Delta\vec{s}_2 + \cdots + \Delta\vec{s}_n = \vec{v}_1\Delta t_1 + \vec{v}_2\Delta t_2 + \cdots + \vec{v}_n\Delta t_n : \qquad (4.2)$$

Համանման ձևով կարելի է հաշվել մարմնի անցած ճանապարհը՝

$$s = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \cdots + \Delta s_n = v_1\Delta t_1 + v_2\Delta t_2 + \cdots + v_n\Delta t_n : \qquad (4.3)$$

Մոդուլով հաստատուն v արագությամբ կորագիծ շարժման դեպքում t ժամանակում մարմնի անցած ճանապարհը՝

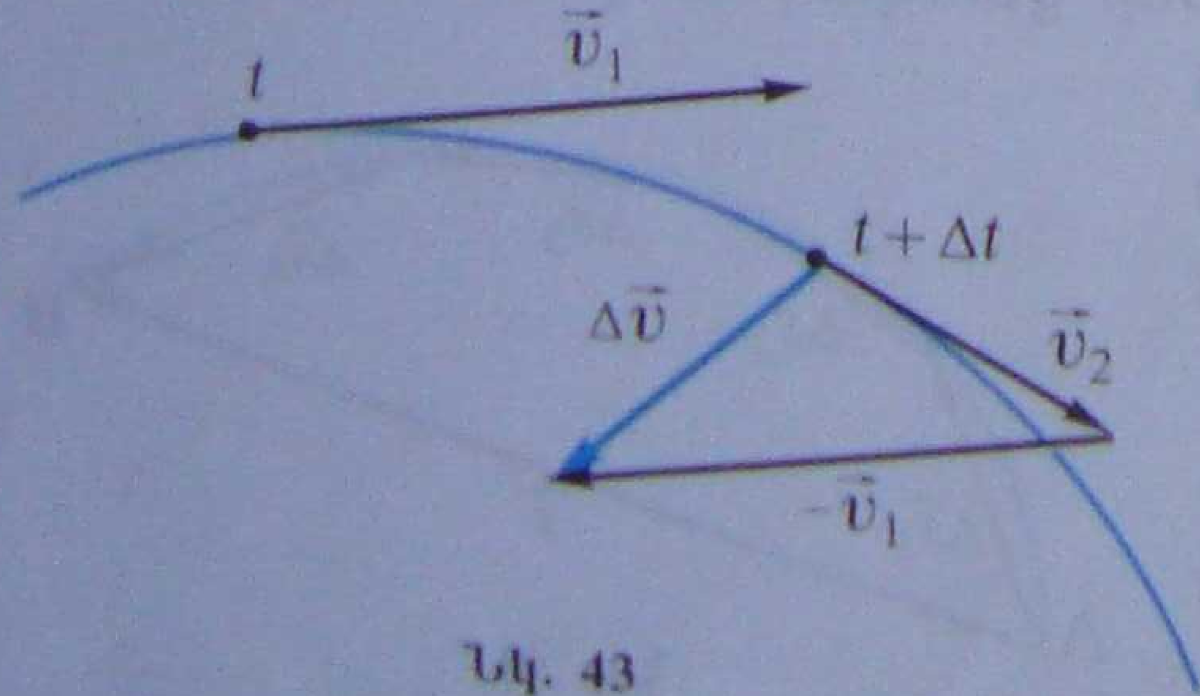
$$s = v\left(\Delta t_1 + \Delta t_2 + \cdots + \Delta t_n\right) : \qquad (4.4)$$

Փակագծերում տրված գումարը մարմնի շարժման ամբողջ t ժամանակն է, ուստի մոդուլով հաստատուն արագությամբ շարժման դեպքում մարմնի անցած s ճանապարհն ուղիղ համեմատական է այդ ժամանակին՝

$$s = vt : \qquad (4.5)$$

Կոր գծով, մոդուլով հաստատուն արագությամբ շարժումը կոչվում է ***կորագիծ հավասարաչափ շարժում*** կամ, պարզապես, ***հավասարաչափ շարժում:***

Արագացումը կորագիծ շարժման դեպքում: Կորագիծ շարժման արագությունն անընդհատ փոխվում է: Նույնիսկ այն դեպքում, երբ արագության մոդուլը հաստատուն է, արագության վեկտորը փոփոխվում է նրա ուղղության փոփոխման պատճառով: Եթե կորագիծ շարժման արագությունը ինչ-որ պահի եղել է $\vec{v}_1$, իսկ փոքր Δt ժամանակ անց՝ $\vec{v}_2$ (նկ.43), ապա արագության փոփոխությունը հավասար կլինի $\vec{v}_2$ և $\vec{v}_1$ վեկտորների տարբերությանը՝ $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, իսկ $\Delta\vec{v}/\Delta t$ հարաբերությունը ցույց կտա արագության վեկտորի փոփոխման արագությունը:



Նկ. 43

Այն վեկտորական ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է անվերջ փոքր ժամանակամիջոցում արագության կրած փոփոխության և այդ ժամանակամիջոցի հարաբերությանը, կոչվում է ակնթարթային արագացում կամ, պարզապես, ***արագացում***՝

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \quad (4.6)$$

երբ Δt -ն անվերջ փոքր ժամանակամիջոց է:

Արագացումը վեկտորական մեծություն է, ուստի այն բնութագրվում է ինչպես մոդուլով, այնպես էլ՝ ուղղությամբ: Արագացման մոդուլը ցույց է տալիս, թե ինչքան արագ է փոփոխվում մարմնի արագությունը: Տեխնիկայում կա արագացումը չափող սարք, որը կոչվում է ***աքսելերոմետր*** (լատիներեն «աքսելերայիո»՝ արագացում բառից):

Արագացման վեկտորի ուղղությունը համընկնում է արագության փոփոխության վեկտորի ուղղության հետ: Նկ.43-ից երևում է, որ արագացումն ուղղված է դեպի այն կողմը, որ կողմը թեքվում է հետագիծը, այսինքն՝ հետագծի գոգավորության կողմը:

Արագացումն ի հայտ է գալիս բոլոր այն շարժումներում, որոնց արագության վեկտորը փոփոխվում է:

Եթե փոփոխվում է արագության վեկտորի մոդուլը, իսկ արագության վեկտորն ուղղված է նույն ուղղի երկայնքով, ապա մարմինը կատարում է ***ուղղագիծ անհավասարաչափ շարժում***:

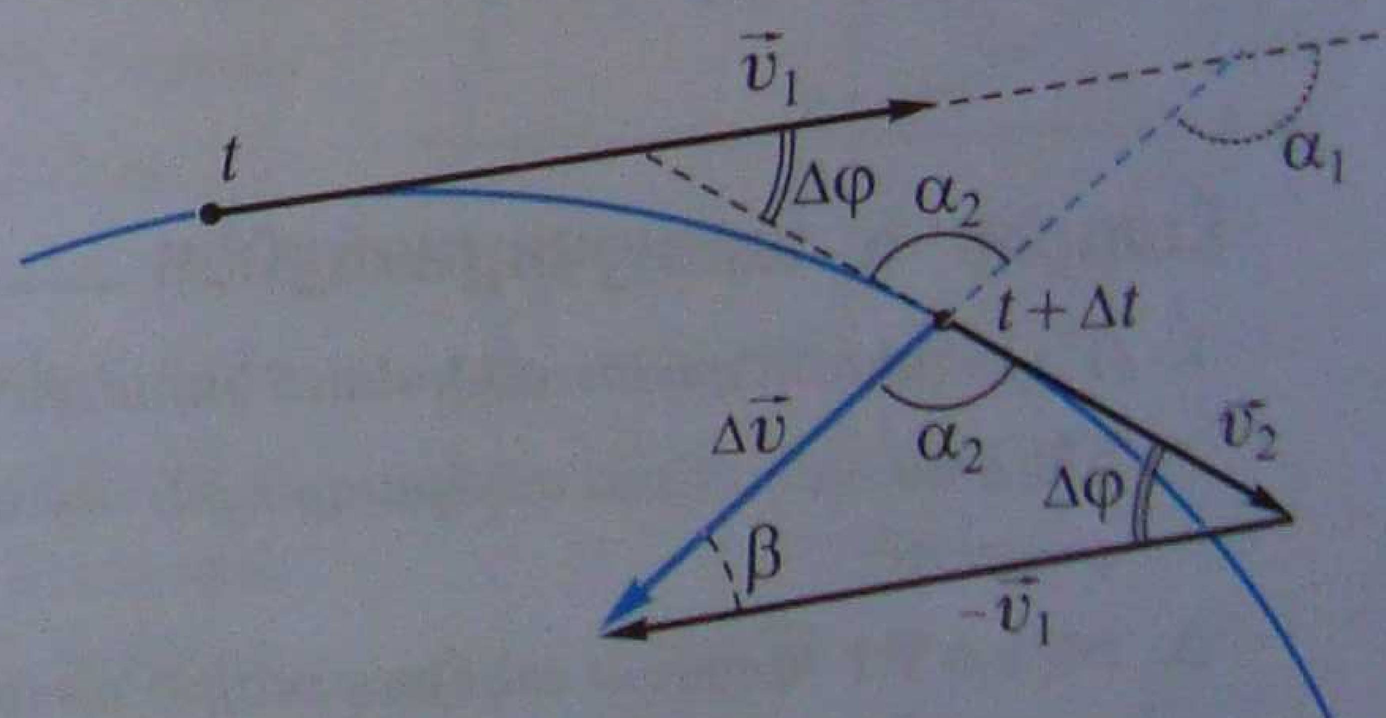
Եթե փոփոխվում է արագության վեկտորի ուղղությունը, իսկ մոդուլը մնում է հաստատուն, ապա մարմինը կատարում է ***կորագիծ հավասարաչափ շարժում:***

Եթե փոփոխվում են շարժման արագության վեկտորի և՛ մոդուլը, և՛ ուղղությունը, ապա մարմինը կատարում է ***կորագիծ անհավասարաչափ շարժում***:

Արագացման վեկտորի ուղղությունը պարզելու համար բավական է համեմատել արագությունների ուղղությունները հետագծի երկու մոտիկ կետերում (փոքր Δt ժամանակամիջոցի սկզբում և վերջում): Դիցուք՝ Δt ժամանակամիջոցում արագության ուղղությունը փոխվել է $\Delta\varphi$ անկյունով (նկ.44): Արագացման վեկտորի կազմած անկյունները $\vec{v}_1$-ի և $\vec{v}_2$-ի հետ նշանակենք α_1-ով և α_2-ով: Ինչպես երևում է նկարից՝

$$\alpha_1 = \alpha_2 + \Delta\varphi : \quad (4.7)$$

Եթե դիտարկվող երկու պահերի միջև ընկած ժամանակամիջոցը շատ փոքր է, ապա այդ ընթացքում շարժման ուղղությունը նկատելիորեն չի փոխվում, հետևաբար՝ $\Delta\varphi$ անկյունը շատ փոքր է: Սահմանային դեպքում, երբ Δt-ն անվերջ փոքր է, $\Delta\varphi \to 0$ և $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, որն էլ ակնթարթային արագացման կազմած անկյունն է արագության ուղղության հետ՝ հետագծի տվյալ կետում: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը՝ պարզենք, թե ինչպես է ուղղված արագացման վեկտորը հետևյալ մասնավոր դեպքերում:



Նկ. 44

1. ***Արագության մոդուլը նվազում է՝*** $v_2 < v_1$: Այս դեպքում $\Delta\vec{v}$, $-\vec{v}_1$ և $\vec{v}_2$ վեկտորներով կազմված եռանկյան մեջ β անկյունն ընկած է փոքր կողմի դիմաց, հետևաբար՝ այն սուր անկյուն է: Բայց երբ $\Delta\varphi \to 0$, $\alpha_2 = \alpha$ և

$$\beta + \alpha = 180^0, \quad (4.8)$$

հետևաբար՝ α անկյունը բութ է:

Ստացվեց, որ եթե կորագիծ շարժում կատարող մարմնի արագության մոդուլը նվազում է, ապա արագության հետ արագացման կազմած ***անկյունը բութ է***:

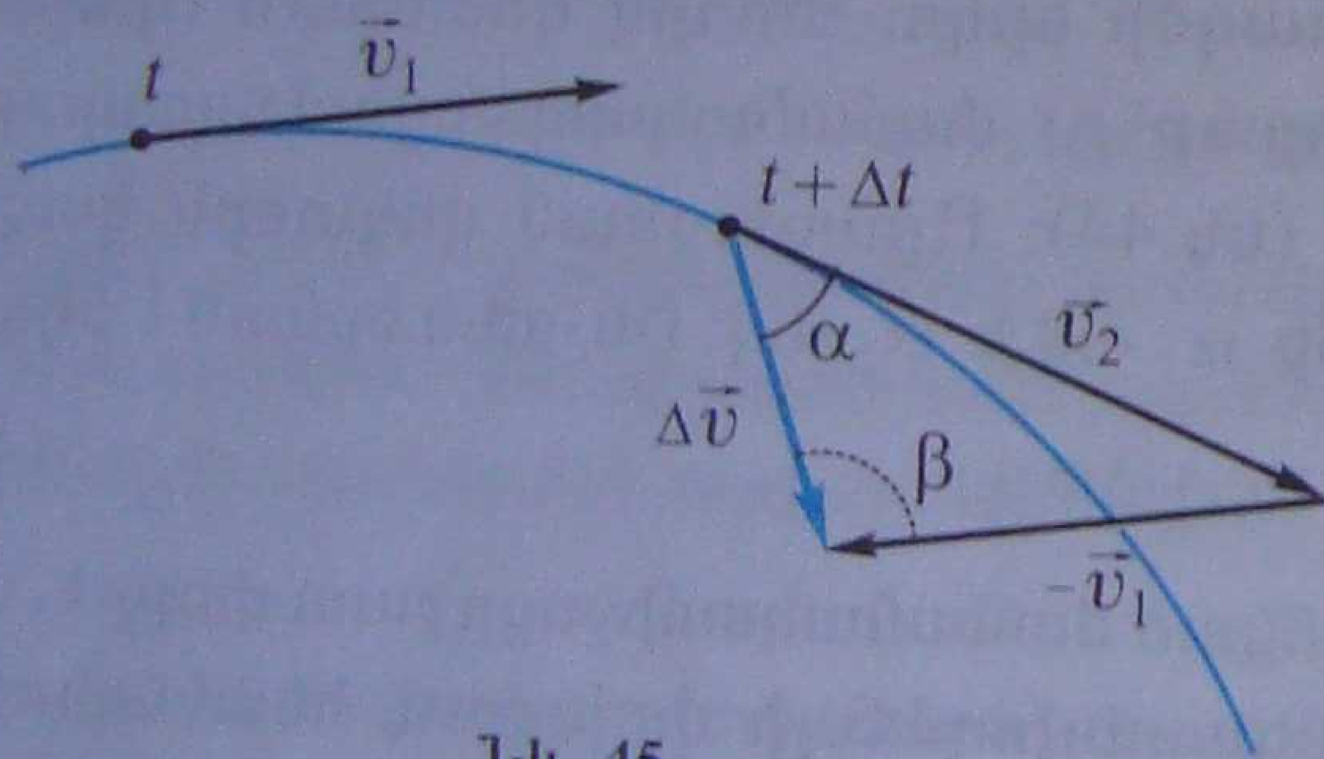
Ճիշտ է նաև հակառակ պնդումը, այսինքն, եթե արագացումն արագության նկատմամբ ուղղված է բութ անկյան տակ, ապա արագության մոդուլը ***նվազում է***: Իրոք, նույն վեկտորներով կազմված եռանկյան մեջ բութ անկյան դիմաց ընկած է v_1-ը, հետևաբար` այն եռանկյան ամենամեծ կողմն է, ուստի` $v_2 < v_1$:

2. ***Արագության մոդուլն աճում է***` $v_2 > v_1$ (նկ.45): Այս դեպքում արագության հետ արագացման կազմած α անկյունը ***սուր է***, քանի որ $\Delta\vec{v}$, $-\vec{v}_1$ և $\vec{v}_2$ վեկտորներով կազմված եռանկյան մեջ ընկած է փոքր կողմի դիմաց: Այս դեպքում էլ ճիշտ է հակառակ պնդումը, այսինքն, եթե արագացման ուղղությունն արագության հետ կազմում է սուր անկյուն, ապա ***արագության մոդուլն աճում է*** (եթե α անկյունը սուր է, ապա β-ն բութ է, իսկ դրա դիմաց ընկած է v_2-ը):

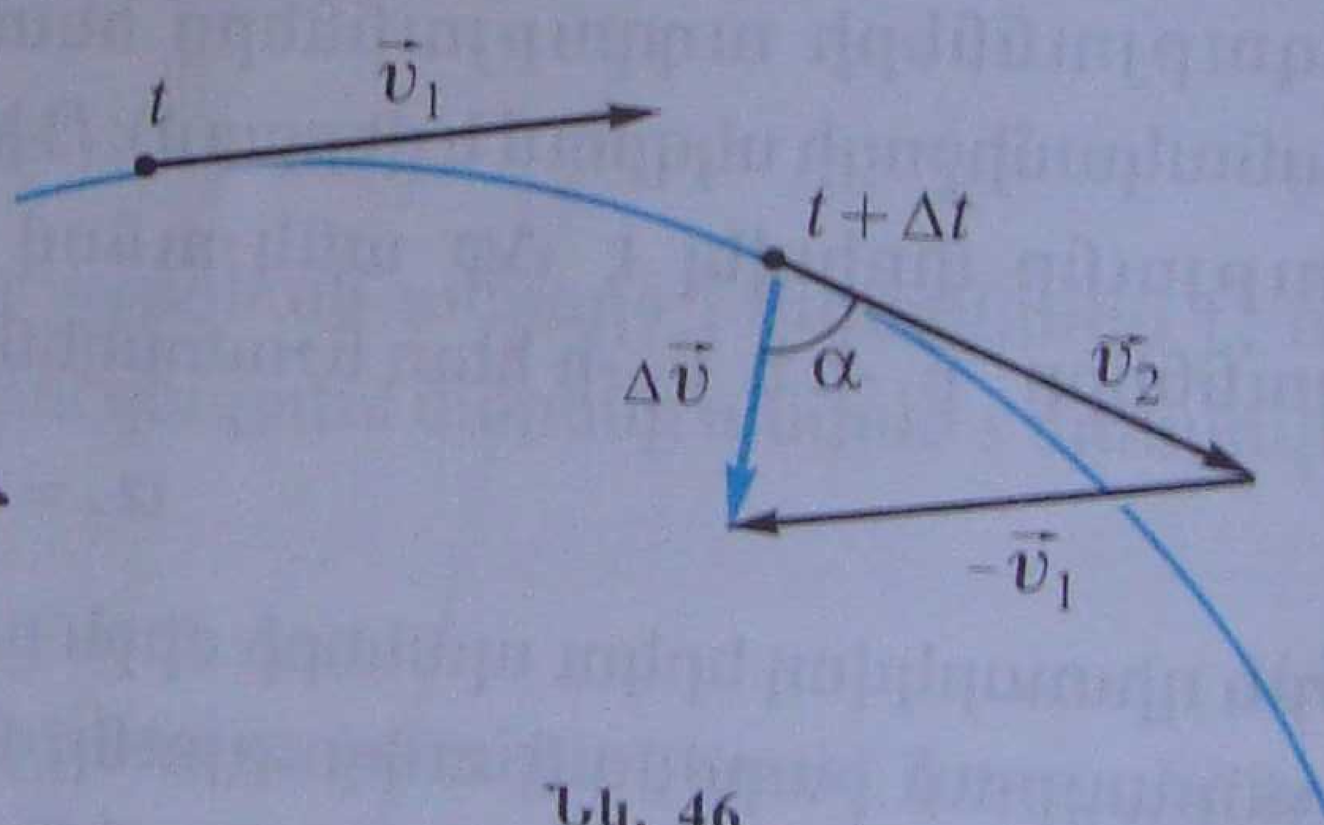
3. ***Արագության մոդուլը մնում է անփոփոխ***` $v_2 = v_1$, այսինքն` մարմինը կատարում է կորագիծ հավասարաչափ շարժում (նկ. 46):

Եթե արագության հետ արագացման կազմած α անկյունը սուր լիներ, ապա արագության մոդուլը պետք է աճեր, իսկ եթե բութ լիներ` պետք է նվազեր: Քանի որ արագության մոդուլը չի փոխվել, ուստի անկյունը ո՛չ սուր է, ո՛չ էլ բութ, ուրեմն մնում է ենթադրել, որ այն ***ուղիղ անկյուն է***, այսինքն` ***արագացումն ուղղահայաց է արագությանը:***

Այսպիսով` ***կորագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում արագացումը հետագծի յանկացած կետում ուղղահայաց է արագությանը***:



Նկ. 45



Նկ. 46

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. ***Ո՞ր շարժումներն են անվանում կորագիծ:***
2. ***Ի՞նչն են անվանում ակնթարթային արագություն:***
3. ***Ինչպե՞ս է ուղղված ակնթարթային արագությունը հետագծի տվյալ կետում:***
4. ***Ի՞նչն են անվանում ակնթարթային արագացում:***
5. ***Ինչպե՞ս է կոչվում արագացում չափող սարքը:***
6. ***Ո՞ր շարժումն են անվանում կորագիծ հավասարաչափ շարժում:***
7. ***Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում կորագիծ հավասարաչափ շարժում կատարող մարմնի` t ժամանակամիջոցում անցած ճանապարհը:***
8. ***Ի՞նչ անկյուն է կազմում արագացումն արագության հետ, եթե վերջինիս մոդուլը` ա) աճում է, բ) նվազում է, գ) հաստատուն է:***

§ 17. Հավասարաչափ շրջանագծային շարժում

Կորագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում, ըստ (4.5) առնչության, t ժամանակամիջոցում մարմնի անցած ճանապարհն ուղիղ համեմատական է այդ ժամանակամիջոցին, այսինքն՝ ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում մարմինն անցնում է հավասար ճանապարհներ:

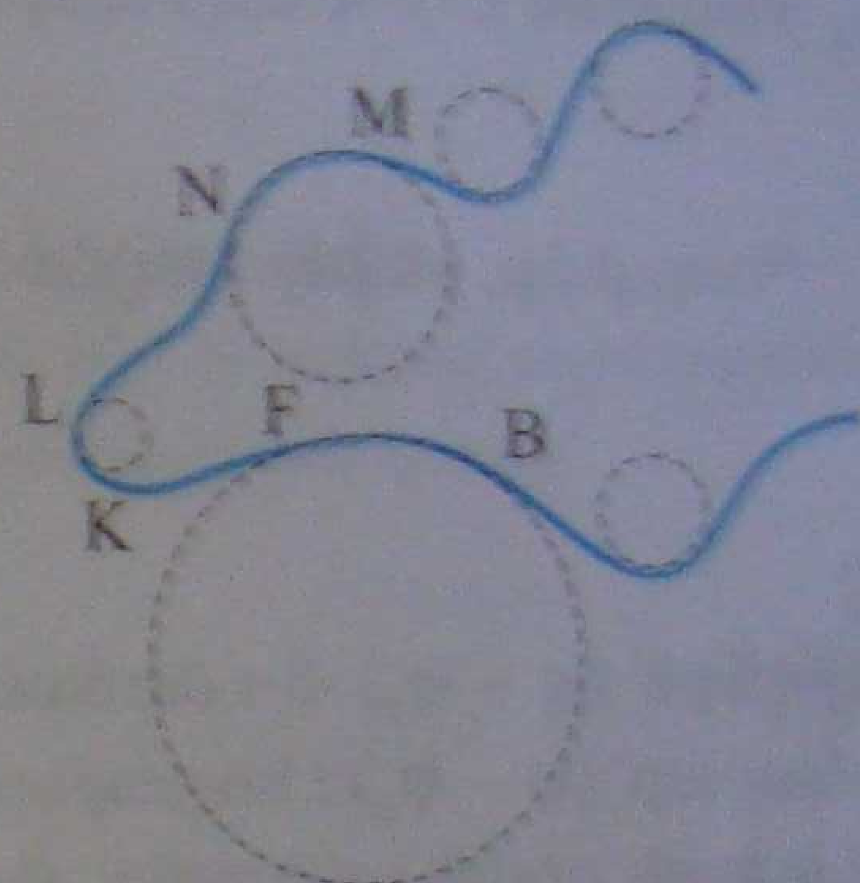
Նախապես հայտնի հետագծով հավասարաչափ շարժվող մարմնի (նկ. 47) դիրքաբվի կախումը ժամանակից ունի հետևյալ տեսքը՝

$$l = l_0 + vt : \tag{4.9}$$



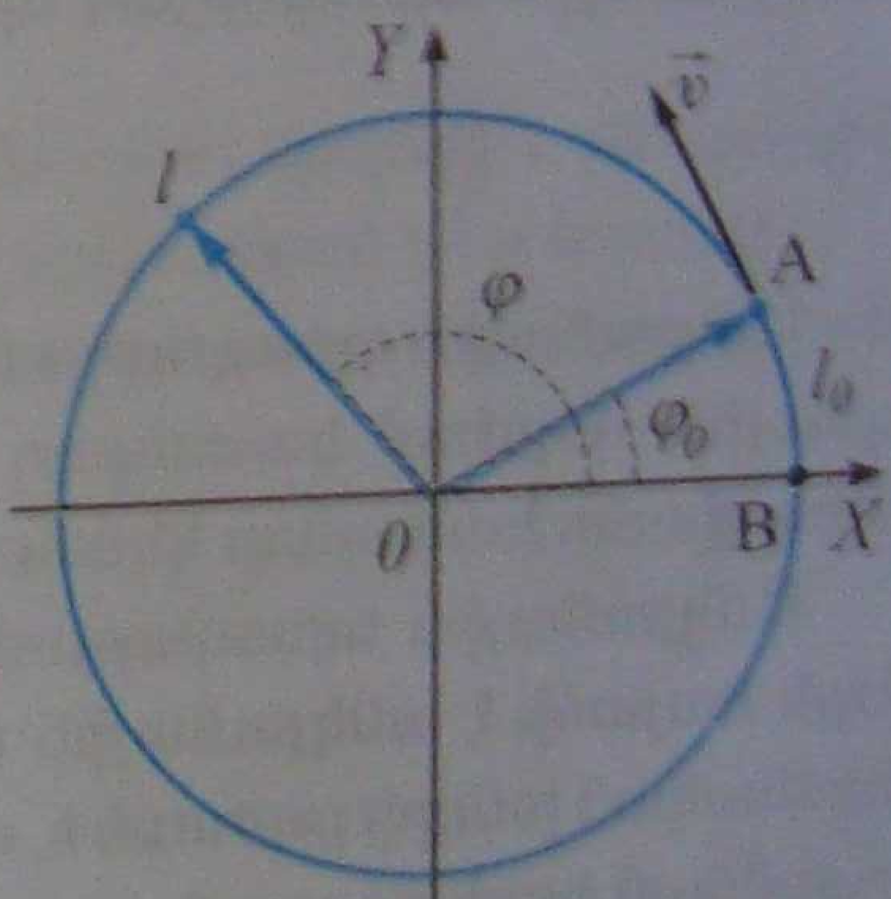
Նկ. 47

Նախապես հայտնի հետագծով շարժման օրինակ է շրջանագծային շարժումը, որն առանձնակի հետաքրքրություն է ներկայացնում, քանի որ ցանկացած կոր հետագծով շարժում կարելի է ներկայացնել որպես տարբեր շրջանագծերի աղեղներով շարժումների վերադրում: Իրոք, նկ. 48-ում պատկերված է մարմնի շարժման մի բարդ հետագիծ: Նկարից երևում է, որ կոր հետագծի առանձին մասերը մոտավորապես շրջանագծերի աղեղներ են, որոնք պատկերված են կետագծերով: Օրինակ՝ KL տեղամասը փոքր շառավղով շրջանագծի աղեղ է, իսկ BF և NM տեղամասերը՝ մեծ շառավղով շրջանագծերի աղեղներ և այլն: Ուստի ստորև կքննարկենք կորագիծ շարժման մասնավոր դեպքը՝ շրջանագծային շարժումը:



Նկ. 48

Դիցուք՝ մարմնի շարժման հետագիծն R շառավղով շրջանագիծ է: XOY կոորդինատային համակարգն ընտրենք այնպես, որ նրա սկզբնակետը համընկնի շրջանագծի կենտրոնի հետ (նկ. 49): Այդ դեպքում հետագծի ցանկացած կետում մարմնի դիրքի շառավիղ-վեկտորի մոդուլը հայտնի է. այն շրջանագծի շառավիղն է: Շարժման ընթացքում շառավիղ-վեկտորը պտտվում է շրջանագծի կենտրոնի շուրջը, հետևաբար՝ մարմնի դիրքը ցույց տալու համար բավական է նշել առանցքներից որևէ մեկի, օրինակ՝ X առանցքի հետ շառավիղ-վեկտորի կազմած φ անկյունը: Իսկ դա նշանակում է, որ մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումը շրջանագծային շարժման դեպքում հանգում է նրա շառավիղ-վեկտորի՝ ընտրված ուղղության հետ կազմած φ անկյունը որոշելուն: Այդ խնդիրը հեշտությամբ լուծվում է, եթե մարմինը շարժվում է հավասարաչափ:



Նկ. 49

Այն հավասարաչափ շարժումը, որի դեպքում մարմնի շարժման հետագիծը շրջանագիծ է, կոչվում է հավասարաչափ շրջանագծային շարժում:

Ենթադրենք՝ $t = 0$ պահին շրջանագծի A կետում գտնվող մարմինը շարժվում է ժամսլաքի պտտման հակառակ ուղղությամբ (ավանդույթի համաձայն՝ մենք այդ ուղղությունը կընդունենք որպես դրական ուղղություն), մոդուլով հաստատուն v արագու-

թյամբ (նկ. 49): Որպես ճանապարհի երկարության հաշվման սկզբնակետ համարենք ընտրված OX ուղղության հետ շրջանագծի հատման B կետը: Այդ դեպքում մարմնի դիրքանիշը կհամընկնի տվյալ դիրքում շառավիղ-վեկտորի՝ OX առանցքի հետ կազմած φ անկյան հենման աղեղի երկարության հետ:

Մաթեմատիկայից հայտնի է, որ եթե φ կենտրոնական անկյունն արտահայտվում է ռադիաններով, ապա դրա կապն իր հենման աղեղի l երկարության հետ որոշվում է

$$\varphi = \frac{l}{R} \qquad (4.10)$$

բանաձևով: Տեղադրելով դիրքանիշի արժեքը (4.9) հավասարումից՝ կստանանք՝

$$\varphi = \frac{l}{R} = \frac{l_0 + vt}{R} = \frac{l_0}{R} + \frac{v}{R}t :$$

l_0/R հարաբերությունն OX առանցքի հետ $t = 0$ պահին շառավիղ-վեկտորի կազմած φ_0 անկյունն է: v/R հարաբերությունը նշանակելով ω տառով՝ կստանանք՝

$$\boxed{\varphi = \varphi_0 + \omega t} : \qquad (4.11)$$

Պարզենք, թե ինչ ֆիզիկական իմաստ ունի ω մեծությունը: (4.11) հավասարումից

$$\boxed{\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t}} , \qquad (4.12)$$

այսինքն՝ $(\varphi - \varphi_0)$-ն t ժամանակամիջոցում շառավիղ-վեկտորի գծած անկյունն է, հետևաբար՝ $(\varphi - \varphi_0)/t$ հարաբերությունը ցույց է տալիս միավոր ժամանակում շառավիղ-վեկտորի գծած անկյունը: Փաստորեն, ω-ն φ անկյան փոփոխման արագությունն է, ուստի այն անվանում են ***անկյունային արագություն***: (4.12) բանաձևից հետևում է, որ անկյունային արագության միավորը ՄՀ-ում կլինի՝

$$[\omega] = \frac{[\varphi]}{[t]} = 1\,\frac{\text{ռադ}}{\text{վ}} :$$

Անկյունային արագությունը հավասար է 1 միավորի, եթե հավասարաչափ շրջանագծային շարժում կատարող մարմնի շառավիղ-վեկտորը 1 վ-ի ընթացքում գծում է 1 ռադիանի հավասար կենտրոնական անկյուն:

Անկյունային արագությունը շրջանագծային շարժման հիմնական բնութագիրն է: Եթե հայտնի է անկյունային արագությունը, ապա (4.11) հավասարումը մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումն է, ուստի այն անվանում են հավասարաչափ շրջանագծային շարժման հավասարում:

Քանի որ ω-ով նշանակել ենք v/R հարաբերությունը, ապա մարմնի շարժման արագության (որը հաճախ անվանում են գծային արագություն) կապն ω-ի և R-ի հետ արտահայտվում է

$$v = \omega R \qquad (4.13)$$

բանաձևով: Արագությունը, ինչպես կամայական կորագիծ շարժման ժամանակ, շրջանագծային հավասարաչափ շարժման դեպքում և հետագծի ցանկացած կետում ուղղված է տվյալ կետում շրջանագծին տարված շոշափողի երկայնքով, այսինքն՝ ուղղահայաց է մարմնի շառավիղ-վեկտորին:

Պտտման պարբերություն: Մարմնի շրջանագծային շարժումը հաճախ բնութագրում են նաև այն ժամանակամիջոցով, որի ընթացքում մարմինը կատարում է մեկ լրիվ պտույտ: Այդ մեծությունն անվանում են ***պտտման պարբերություն*** և նշանակում T տառով: Օրինակ` Երկրի արհեստական արբանյակի արձակման մասին հաղորդագրություններում սովորաբար նշվում է նրա պտտման պարբերությունը, սակայն երբեք չի նշվում ուղեծրով արբանյակի շարժման արագությունը: Եթե մարմինը t ժամանակում կատարում է N պտույտ, ապա յուրաքանչյուր պտույտ կկատարի t/N ժամանակում, ուստի պտտման պարբերությունը`

$$T = \frac{t}{N} : \qquad (4.14)$$

T պարբերությանը հավասար ժամանակամիջոցում v արագությամբ մարմինն անցնում է շրջանագծի $2\pi R$ երկարությանը հավասար ճանապարհ, հետևաբար`

$$\boxed{v = \frac{2\pi R}{T}}, \qquad (4.15)$$

որտեղ R -ն այն շրջանագծի շառավիղն է, որով շարժվում է մարմինը:

(4.15) հավասարման մեջ տեղադրելով արագության (4.13) արտահայտությունը` կստանանք պտտման պարբերության և անկյունային արագության կապը`

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \qquad (4.16)$$

կամ

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}} : \qquad (4.17)$$

Պտտման հաճախություն: Մարմնի շարժումը շրջանագծով կարելի է բնութագրել նաև ***պտտման հաճախություն*** կոչվող մեծությամբ, որը նշանակում են n տառով:

Եթե t ժամանակամիջոցում մարմինը կատարում է N պտույտ, ապա հաճախությունը`

$$n = \frac{N}{t} : \qquad (4.18)$$

(4.18) և (4.14) բանաձևերից հետևում է, որ

$$\boxed{n = \frac{1}{T}} : \qquad (4.19)$$

(4.19) արտահայտությունից հետևում է, որ հաճախությունը ցույց է տալիս միավոր ժամանակում մարմնի կատարած պտույտների թիվը:

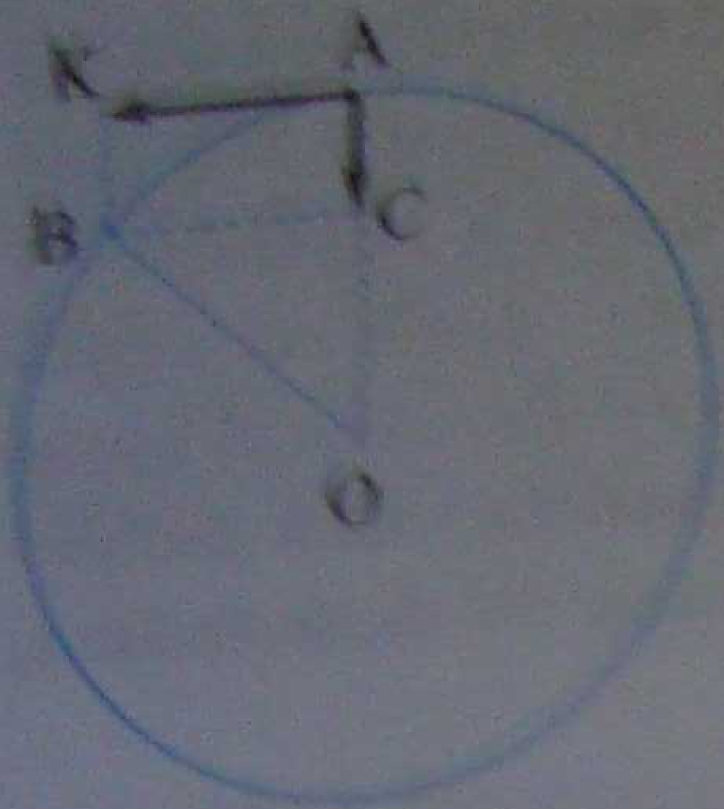
Պտտման հաճախության միավորն է 1/վ կամ $վ^{-1}$:

Պտտման հաճախությամբ կարելի է արտահայտել պտտման n

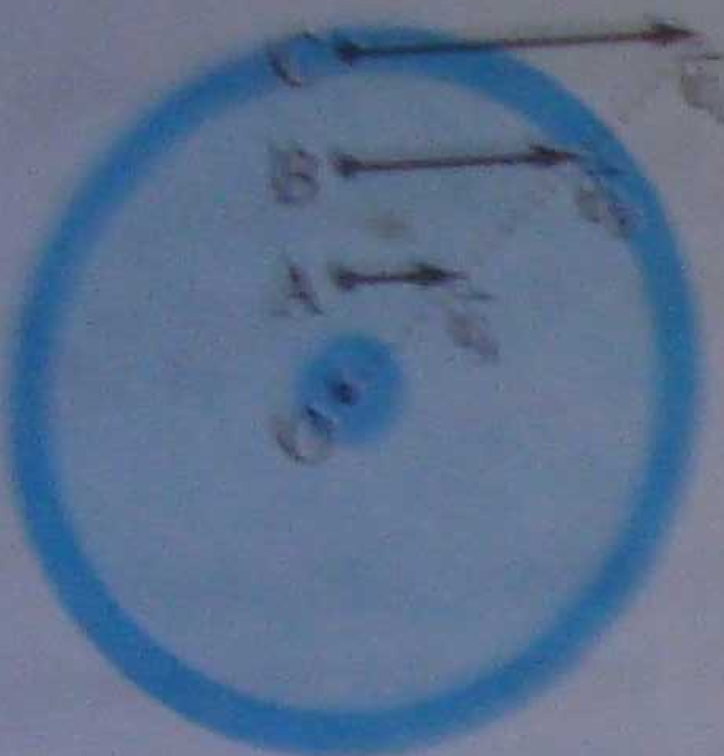
Շրջանագծային շարժման v արագությունը կարելի է արտահայտել պտտման n հաճախությամբ: Իրոք, արագությունը թվապես հավասար է 1 վ-ում մարմնի անցած ճանապարհին: Մեկ պտույտի ժամանակ մարմինն անցնում է $2\pi R$ ճանապարհ, 1 վ-ում n պտույտ կատարող մարմինը կանցնի $2\pi Rn$ ճանապարհ, հետևաբար`

$$\boxed{v = 2\pi Rn} : \qquad (4.20)$$

Արագացումը հավասարաչափ շրջանագծային շարժման ժամանակ: Կորագիծ հավասարաչափ շարժման ժամանակ արագացումը կապված է արագության վեկտորի միայն ուղղության փոփոխության հետ: Ինչպես ցույց տրվեց § 16-ում, հավասարաչափ շարժման ժամանակ հետագծի ցանկացած կետում մարմնի շարժման արագացումն ուղղահայաց է արագությանը: Քանի որ արագությունն ուղղված է շրջանագծի շոշափողով, իսկ տվյալ կետով անցնող շառավիղն ուղղահայաց է շոշափողին, ապա հավասարաչափ շրջանագծային շարժման ժամանակ մարմնի արագացումն ուղղված է դեպի շրջանագծի կենտրոնը: Այդ պատճառով այն անվանում են ***կենտրոնաձիգ*** (կամ նորմալ) ***արագացում*** և նշանակում a_n-ով: Օգտագործելով այս փաստը՝ ստանանք կենտրոնաձիգ արագացման վեկտորի մոդուլի արտահայտությունը:



Նկ. 50



Նկ. 51

Դիցուք՝ շատ փոքր Δt ժամանակահատվածի ընթացքում մարմինն A կետից տեղափոխվում է B կետ (նկ. 50): Քանի որ արագացումն ուղղված է շառավղի ուղղությամբ, ապա Δt ժամանակահատվածում մարմինը շոշափողի երկայնքով կանցնի $AK = v\Delta t$, իսկ դեպի կենտրոն՝ $AC = a_n\Delta t^2/2$ հատվածները: Քանի որ B կետը գտնվում է շրջանագծի վրա, կարող ենք գրել՝ $(OB)^2 = (OC)^2 + (CB)^2$ կամ $R^2 = (R - a_n\Delta t^2/2)^2 + (v\Delta t)^2$, որտեղից՝ $v^2 - Ra_n + a_n^2\Delta t^2/4 = 0$: Վերջապես, ստացված հավասարման մեջ անտեսելով վերջին անդամը (Δt-ի անվերջ փոքր լինելու պատճառով), կստանանք՝

$$a_n = \frac{v^2}{R} \qquad (4.21)$$

(4.21) բանաձևի մեջ արագության փոխարեն տեղադրելով (4.15) և (4.20) արտահայտությունները՝ կստանանք նաև կենտրոնաձիգ արագացման արտահայտությունները՝

$$a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

և

$$a_n = 4\pi^2 n^2 R \qquad (4.22)$$

Այսպիսի բանաձևերից երևում է, որ եթե հայտնի է պտտման պարբերությունը կամ հաճախությունը, ապա կենտրոնաձիգ արագացումը և շառավիղը [illegible]

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք ճախապես հայտնի հետագծով հավասարաչափ շարժում կատարող մարմնի դիրքաքվի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևը:*
2. *Տվե՛ք հավասարաչափ շրջանագծային շարժման սահմանումը:*
3. *Ո՞րն է հավասարաչափ շրջանագծային շարժման հիմնական բնութագիրը: Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի այն:*
4. *Տվե՛ք հավասարաչափ շրջանագծային շարժման պարբերության և հաճախության սահմանումները:*
5. *Ինչպե՞ս են ուղղված հետագծի տվյալ կետում արագությունը և արագացումը հավասարաչափ շրջանագծային շարժման դեպքում:*
6. *Ի՞նչ բանաձևերով են որոշվում գծային արագության և կենտրոնաձիգ արագացման մոդուլները հավասարաչափ շրջանագծային շարժման դեպքում:*

§ 18. Կորագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում: Հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնի շարժումը

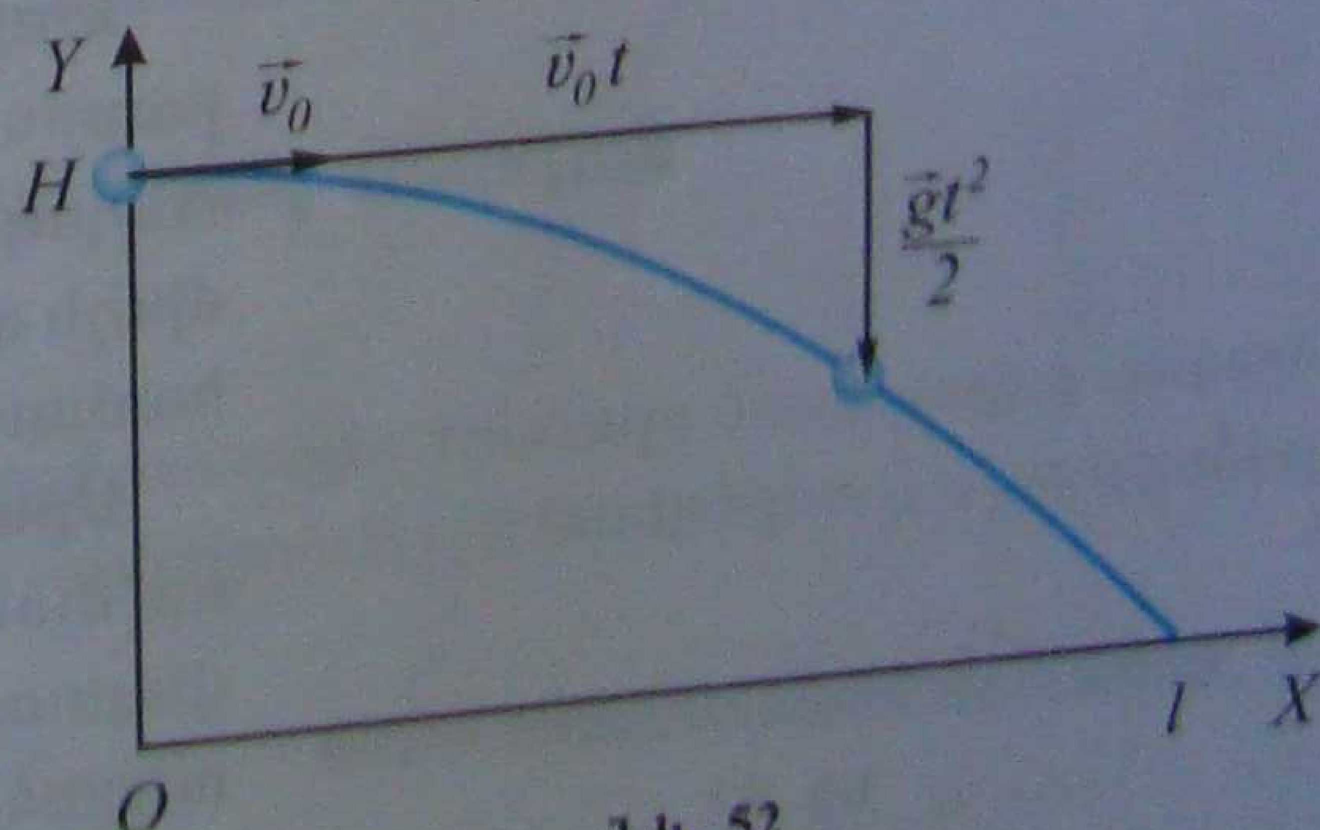
§ 14-ում մենք տեսանք, որ ազատ անկում կատարող ցանկացած մարմնի շարժումը միևնույն՝ $\vec{g}$ արագացմամբ ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում է, եթե նրա սկզբնական արագությունն ուղղված է ուղղաձիգով:

Առօրյայում ավելի հաճախ հանդիպում են այնպիսի շարժումներ, որոնց սկզբնական արագությունը որոշ անկյուն է կազմում հորիզոնական հարթության հետ: Այդպիսի սկզբնական արագությամբ շարժում ստացած մարմնի մասին ասում են, որ այն հորիզոնական հարթության նկատմամբ նետված է անկյան տակ: Երբ, օրինակ, մարզիկը հրում է գունդը, նետում սկավառակը կամ նիզակը, նա այդ առարկաներին հենց այդպիսի սկզբնական արագությամբ շարժում է հաղորդում: Հրետաձգության ժամանակ հրանոթի փողերը բարձրացնում են որոշ անկյամբ այնպես, որ դուրս թռչող արկը նույնպես կատարում է հորիզոնի նկատմամբ անկյուն կազմող սկզբնական արագությամբ շարժում:

Դիտումներն ու փորձերը ցույց են տալիս, որ հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ նետած բոլոր մարմինների ազատ անկումը նույնպես $\vec{g}$ հաստատուն արագացմամբ շարժում է, սակայն այս դեպքում հետագիծը ոչ թե ուղիղ գիծ է, այլ՝ կոր:

Կոր գծով հաստատուն արագացմամբ շարժումը կոչվում է ***կորագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում***:

Այսպիսով՝ մարմինների ազատ անկումը, անկախ սկզբնական արագության ուղղությունից և հետագծի ձևից, հավասարաչափ արագացող շարժում է: Բոլոր դեպքերում մարմինը շարժվում է $\vec{g}$ արագացմամբ:



Նկ. 52

Դիտարկենք H բարձրությունից $\vec{v}_0$ արագությամբ հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնի ազատ անկումը (նկ. 52): Այսպես է ուղղված, օրինակ, հորիզոնական ուղղությամբ թռչող ինքնաթիռից պոկվող մարմնի սկզբնական արագությունը: Մարմնի արագացումը հաստատուն է և հավա-

սար է $\vec{g}$ ազատ անկման արագացմանը, որն ուղղված է ուղղաձիգ դեպի ներքև, իսկ նրա մոդուլը՝ $g = 9{,}8$ մ/վ^2: Ուրեմն՝ մարմնի շարժման հիմնական կինեմատիկական հավասարումներն ունեն հետևյալ տեսքը (տե՛ս § 12)՝

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t\ , \quad \vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g}t^2}{2}\ : \tag{4.23}$$

(4.23) հավասարումները վկայում են այն մասին, որ մարմինը միաժամանակ կատարում է երկու անկախ շարժում. հորիզոնական ուղղությամբ այն տեղափոխվում է $\vec{v}_0$ հաստատուն արագությամբ, իսկ ուղղաձիգ ուղղությամբ՝ առանց սկզբնական արագության ազատ անկում է կատարում: Հետևաբար, ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի դիրքը ստացվում է սկզբնական դիրքից այն v_0t -ով հորիզոնական ուղղությամբ և $gt^2/2$ -ով՝ ուղղաձիգ ուղղությամբ տեղափոխելով:

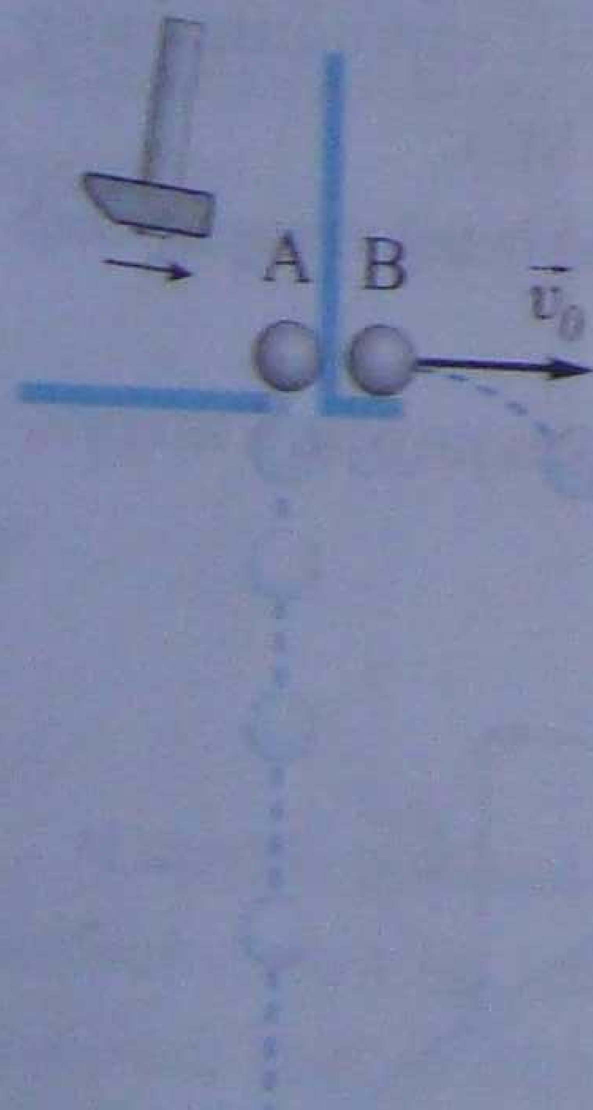
Անկման ժամանակը: Շարժումը սկսելուց t ժամանակ հետո մարմինը կգտնվի $H-gt^2/2$ բարձրության վրա: Գետնին կհասնի այն պահին, երբ ուղղաձիգ ուղղությամբ տեղափոխվի H-ով: Հետևաբար, թռիչքի t_0 ժամանակի համար կստանանք՝

$$H = \frac{gt_0^2}{2}\ , \tag{4.24}$$

որտեղից՝

$$t_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}}\ : \tag{4.25}$$

Ստացվեց, որ հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնի թռիչքի ժամանակը հավասար է նույն բարձրությունից, առանց սկզբնական արագության ազատ թողած մարմնի անկման ժամանակին (տե՛ս § 14): Այս արդյունքի ճշմարտացիության մեջ կարելի է համոզվել հետևյալ փորձի միջոցով: Նկ. 53-ում պատկերված սարքի միջոցով կարելի է միաժամանակ բաց թողնել A գնդիկը և հորիզոնական ուղղությամբ նետել B գնդիկը: Գնդիկները հատակին կընկնեն միաժամանակ (հատակի հետ մի հարվածի ձայն կլսվի): Եթե գնդիկների անկումը նկարվի մութ սենյակում՝ հավասար ժամանակամիջոցներից հետո գնդիկները լուսավորելով, ապա ստացված նկարի ուսումնասիրությունը ցույց կտա, որ դրանք ժամանակի ցանկացած պահին գտնվում են նույն բարձրության վրա և միաժամանակ են ընկնում հատակին:

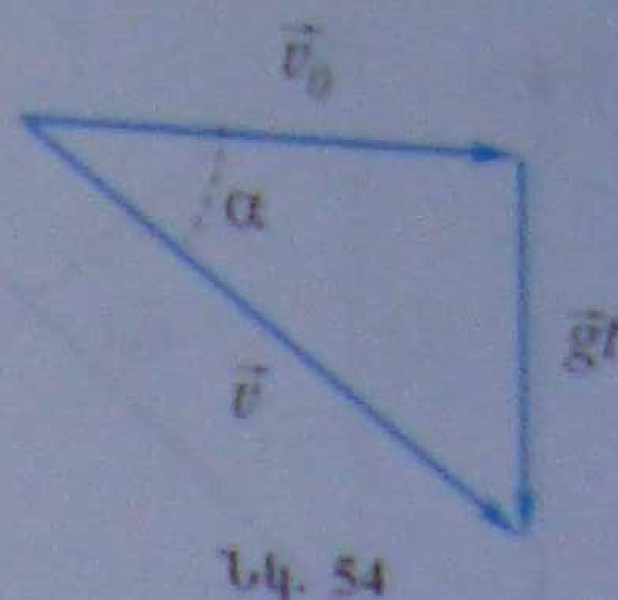


Նկ. 53

Թռիչքի հեռահարությունը: Թռիչքի հեռահարություն անվանում են նետման տեղից հորիզոնական ուղղությամբ մարմնի անցած l հեռավորությունը մինչև գետնին ընկնելու կետը: Այդ հեռավորությունը հավասար կլինի v_0t_0 -ի:

Արագությունը: (4.23) հավասարումից երևում է, որ ժամանակի ցանկացած պահին արագության վեկտորը հորիզոնական ուղղված $\vec{v}_0$ վեկտորի և ուղղաձիգ դեպի ներքև ուղղված $\vec{g}t$ վեկտորի գումարն է (նկ. 54): Ուստի արագության մոդուլը՝

$$v=\sqrt{v_0^2+g^2t^2}\ : \qquad (4.26)$$



Նկ. 54

Հորիզոնի հետ արագության վեկտորի կազմած անկյունը (շարժման ուղղությունը) հեշտությամբ կարելի է գտնել նկ. 54-ում պատկերված վեկտորական եռանկյունից՝

$$tg\alpha=\frac{gt}{v_0},\quad \text{որտեղից՝}\quad \alpha=arctg\left(\frac{gt}{v_0}\right): \qquad (4.27)$$

Հետագծի տեսքը: Մարմնի շարժման հետագծի տեսքը ստանալու համար հարմար է օգտվել շարժման նկարագրման կոորդինատային եղանակից: Կոորդինատային առանցքների՝ նկ. 52-ում պատկերված ընտրության դեպքում մարմնի x և y կոորդինատների կախումները ժամանակից կունենան հետևյալ տեսքը՝

$$x=v_0t\ ,\quad y=H-\frac{gt^2}{2}\ : \qquad (4.28)$$

t-ն արտահայտելով x-ի միջոցով՝ $t=x/v_0$ և տեղադրելով y-ի արտահայտության մեջ՝ կստանանք՝

$$y=H-\frac{g}{2v_0^2}x^2\ : \qquad (4.29)$$

Ուրեմն՝ մարմնի շարժման հետագիծը պարաբոլ է (ավելի ճիշտ՝ պարաբոլի աջ ճյուղն է), որի գագաթը գտնվում է $(0,\ H)$ կետում:

Հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնի շարժման ուսումնասիրության ժամանակ մենք ենթադրեցինք, որ մարմինը շարժվում է անօդ տարածության մեջ: Օդի առկայությունը հանգեցնում է նրան, որ մարմնի շարժման հետագիծը տարբերվում է պարաբոլից և վերածվում ավելի բարդ կորի:

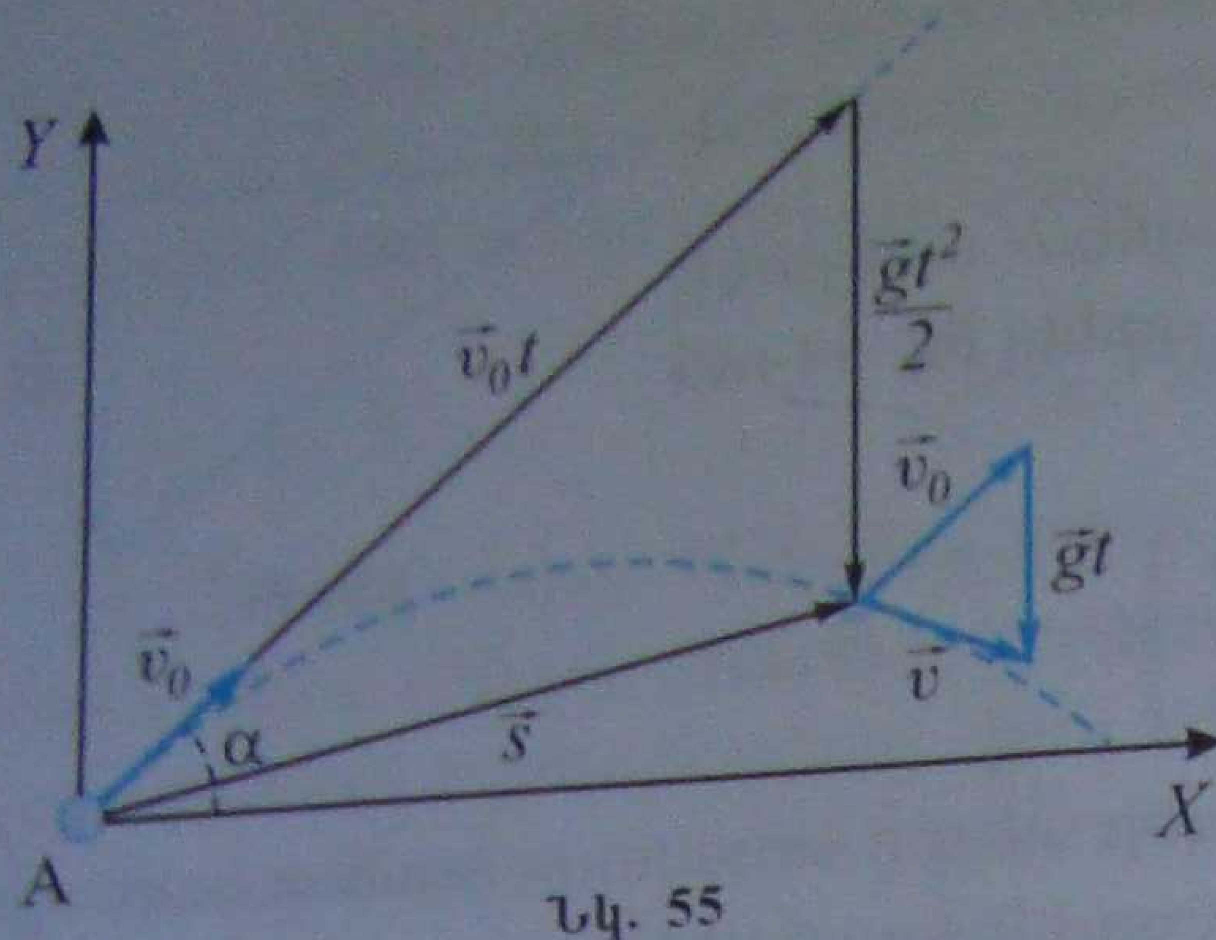
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն են անվանում կորագիծ հավասարաչափ արագացող:*
2. *Գրե՛ք հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնի շարժման կինեմատիկական հավասարումները:*
3. *Ինչպե՞ս են գտնում հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնի դիրքը և արագությունը ժամանակի յանկացած պահին:*
4. *Ինչի՞ մասին է վկայում նկ.53-ում պատկերված A և B գնդիկների լուսանկարը:*

§ 19. Հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ նետված մարմնի շարժումը

Ուսումնասիրենք մարմնի գործնականում առավել հաճախ հանդիպող ազատ անկումը, երբ նրա սկզբնական արագության ուղղությունը չի համընկնում ո՛չ ուղղաձիգ և ո՛չ էլ հորիզոնական ուղղությունների հետ:

Ենթադրենք՝ որևէ A կետից մարմինը v_0 արագությամբ նետված է հորիզոնի նկատմամբ α անկյան տակ (նկ. 55):



Նկ. 55

Քանի որ մարմինը շարժվում է ուղղաբյամբ և մոդուլով հաստատուն $\vec{g}$ արագացմամբ, ապա նրա շարժման կինեմատիկական հավասարումները վեկտորական նշակայացմամբ ունեն ճիշտ նույն տեսքը, ինչ որ ուղղաձիգ դեպի վեր կամ հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմինների շարժման (4.23) հավասարումները:

Այդ դեպքում մարմինը $\vec{v}_0$ հաստատուն արագությամբ տեղափոխվում է հորիզոնի նկատմամբ α անկյուն կազմող ուղղի երկայնքով, իսկ ուղղաձիգ ուղղությամբ, նախորդ դեպքերի նման, առանց սկզբնական արագության ազատ անկում է կատարում: Ժամանակի յանկացած պահին մարմնի դիրքը ստացվում է սկզբնական դիրքից այն $v_0 t$ -ով հորիզոնի նկատմամբ α անկյամբ թեքված ուղղի երկայնքով և $gt^2/2$ -ով՝ ուղղաձիգ ուղղությամբ դեպի ներքև տեղափոխելով: Մարմնի արագությունը ժամանակի յանկացած պահին հորիզոնի նկատմամբ α անկյան տակ ուղղված $\vec{v}_0$ վեկտորի և ուղղաձիգ դեպի ներքև ուղղված $\vec{g}t$ վեկտորի գումարն է (նկ. 55):

Հետագծի տեսքը: Հետագծի տեսքը ստանալու համար այստեղ էլ է հարմար օգտվել շարժման նկարագրման կոորդինատային եղանակից: Կոորդինատային համակարգի սկզբնակետ համարենք այն կետը, որտեղից նետվել է մարմինը: X առանցքն ուղղենք հորիզոնական, իսկ Y առանցքը՝ ուղղաձիգ ուղղություններով: Ժամանակի հաշվարկման սկիզբ համարենք ժամանակի այն պահը, երբ նետվել է մարմինը: Նկ. 55-ից երևում է, որ մարմնի x և y կոորդինատները շարժումը սկսելուց t ժամանակ անց հավասար են՝

$$x = v_0 t \cos\alpha, \quad y = v_0 t \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}: \tag{4.30}$$

(4.30) հավասարումներից արտաքսելով t ժամանակը՝ կստանանք α անկյան տակ նետված մարմնի շարժման հետագծի հավասարումը՝

$$y = x\,tg\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha}x^2: \tag{4.31}$$

Մաթեմատիկայի դասընթացից հայտնի է, որ ստացված տեսքի ֆունկցիայի գրաֆիկը պարաբոլ է, որի ճյուղերն ուղղված են Y առանցքի ուղղությանը հակառակ, տվյալ դեպքում՝ դեպի ներքև: Այդ գրաֆիկն էլ մարմնի շարժման հետագիծն է:

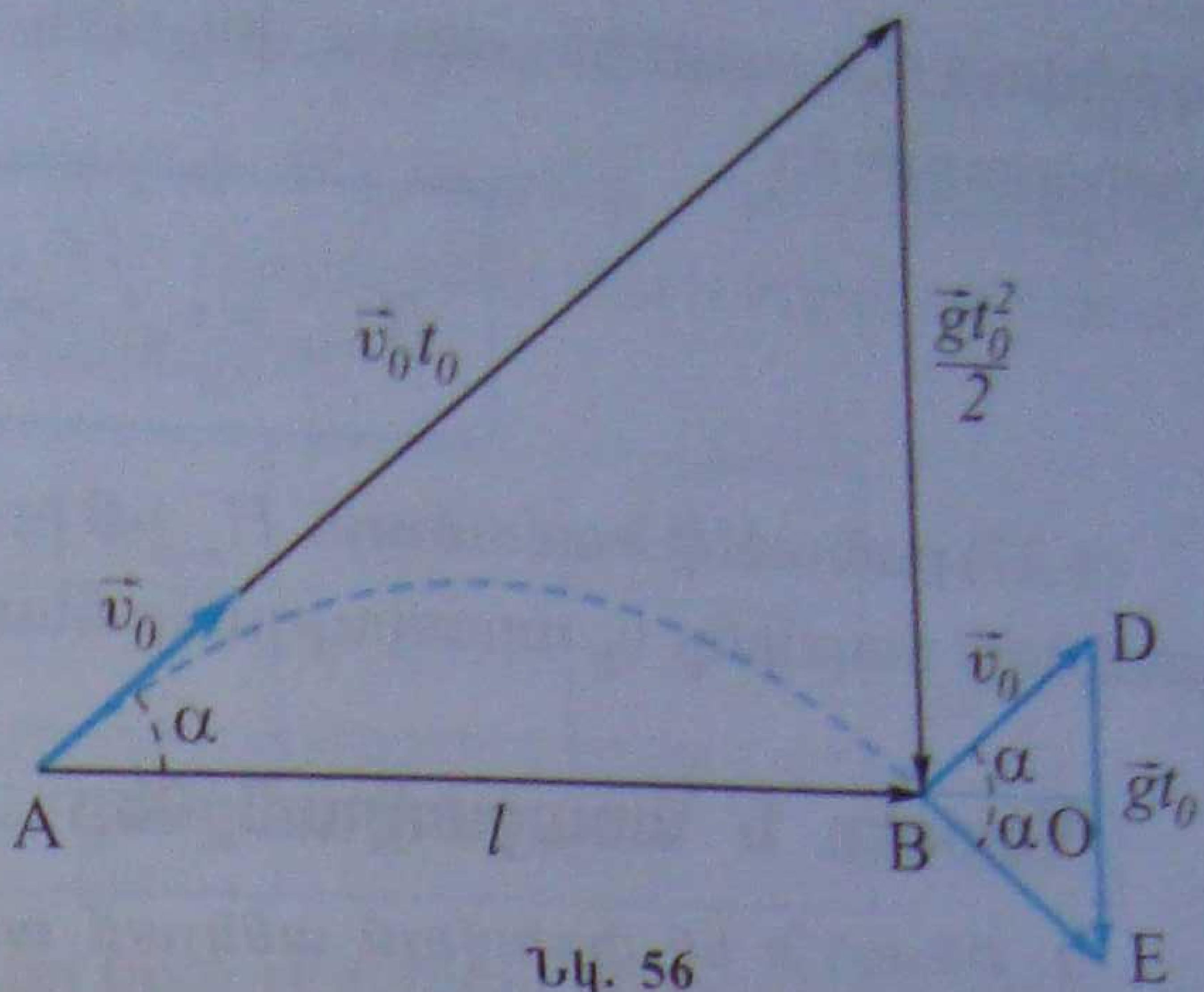
Անկման ժամանակը և հեռահարությունը: Դիցուք՝ շարժումը սկսելուց t_0 ժամանակ անց մարմինն ընկնում է գետնին նետման կետից l հեռավորության վրա: Այդ պահին տեղափոխության վեկտորն ուղղված է հորիզոնական ուղղությամբ, ուստի $\vec{v}_0 t_0$ և $\vec{g}t_0^2/2$ վեկտորներով կառուցված ABC եռանկյունն ուղղանկյուն եռանկյուն է, որի մի սուր անկյունը α-ն է (նկ. 56): Այդ եռանկյունից՝

$$\sin\alpha = \frac{gt_0^2}{2v_0 t_0} = \frac{gt_0}{2v_0}, \tag{4.32}$$

$$\cos\alpha = \frac{l}{v_0 t_0}: \tag{4.33}$$

(4.31) հավասարումից թռիչքի ժամանակը (տևողությունը)՝

$$t_0 = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} \quad : \qquad (4.34)$$



Նկ. 56

Տեղադրելով t_0-ի արժեքը (4.32) հավասարման մեջ՝ կստանանք՝

$$l = \frac{2v_0^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad : \quad (4.35)$$

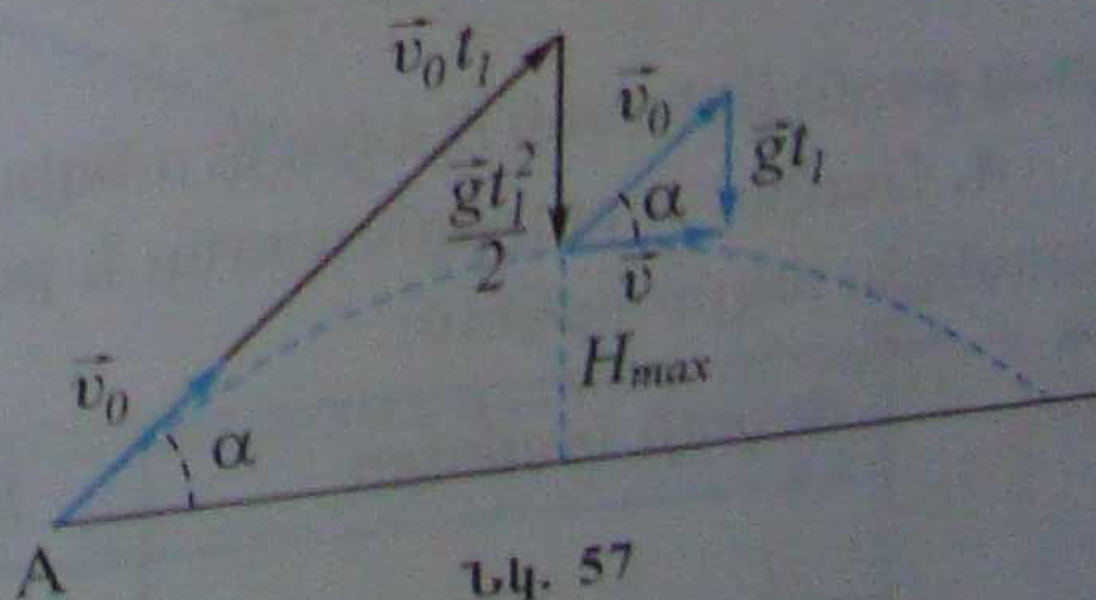
(4.35) արտահայտությունից երևում է, որ մոդուլով նույն v_0 արագությամբ, բայց տարբեր անկյունների տակ նետված մարմինների հեռահարությունները կախված են հորիզոնի նկատմամբ սկզբնական արագության կազմած α անկյունից: Թռիչքի առավելագույն հեռահարություն ստացվում է այն դեպքում, երբ $\sin 2\alpha = 1$, այսինքն՝ $\alpha = 45°$: Դրանում հեշտությամբ կարելի է համոզվել՝ ռետինե խողովակից հոսող ջրի շիթն ուղղելով տարբեր անկյունների տակ:

Արագությունը գետնին ընկնելու պահին: Գետնին ընկնելու պահին մարմնի արագությունը $\vec{v}_0$ վեկտորի և $\vec{g}t_0$ վեկտորի գումարն է (նկ. 56): BOD եռանկյան մեջ $DO = v_0 \sin\alpha$, իսկ $DE = gt_0 = 2v_0 \sin\alpha$: Ստացվում է, որ BDE եռանկյան B գագաթից տարված բարձրությունը նաև միջնագիծ է: Ուրեմն՝ այդ եռանկյունը հավասարասրուն է, և BO-ն միաժամանակ նաև ∠B-ի կիսորդն է: Սա նշանակում է, որ $|BE| = |BD|$, $\angle OBE = \alpha$, այսինքն՝ գետնին ընկնելու պահին մարմնի արագության մոդուլը հավասար է նետման պահին մարմնին հաղորդած սկզբնական արագության մոդուլին և ուղղված է հորիզոնի նկատմամբ $-\alpha$ անկյան տակ:

Վերելքի և վայրէջքի ժամանակները: Վերելքի ընթացքում, բարձրության աճմանը զուգընթաց, հորիզոնական ուղղության հետ մարմնի արագության կազմած α անկյունը նվազում է՝ ինչ-որ t_1 պահի դառնալով զրո: Այդ պահին մարմնի արագությունն ուղղված է հորիզոնական ուղղությամբ, իսկ մարմինը գտնվում է հետագծի ամենաբարձր կետում (նկ. 57): Ուրեմն՝ t_1-ը վերելքի ժամանակն է: Ինչպես երևում է նկ. 57-ից, $\sin\alpha = gt_1/v_0$, որտեղից վերելքի ժամանակի համար կստանանք՝

$$t_1 = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} \quad : \qquad (4.36)$$

Համեմատելով ստացված ժամանակը թռիչքի ամբողջ t_0 ժամանակի (4.36) արտահայտության հետ՝ կնկատենք, որ այն հավասար է $t_0/2$, այսինքն՝ վերելքի վրա ծախսվում է ամբողջ ժամանակի կեսը: Մյուս կեսը ծախսվում է վայրէջքի վրա: Այսպիսով՝ վերելքի և վայրէջքի ժամանակներն իրար հավասար են:



Նկ. 57

Թռիչքի առավելագույն բարձրությունը: Քանի որ հետագծի ամենաբարձր կետում մարմինը

գտնվում է t_1 պահին, ապա, ինչպես երևում է նկ. 57-ից, թռիչքի առավելագույն բարձրությունը՝

$$H_{max} = v_0 t_1 \sin\alpha - \frac{g t_1^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} : \quad (4.37)$$

(4.37) բանաձևի համաձայն՝ H_{max}-ն իր առավելագույն արժեքն ընդունում է այն դեպքում, երբ մարմինը v_0 արագությամբ նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր՝ $\alpha = 90°$:

Հարցեր և առաջադրանքներ

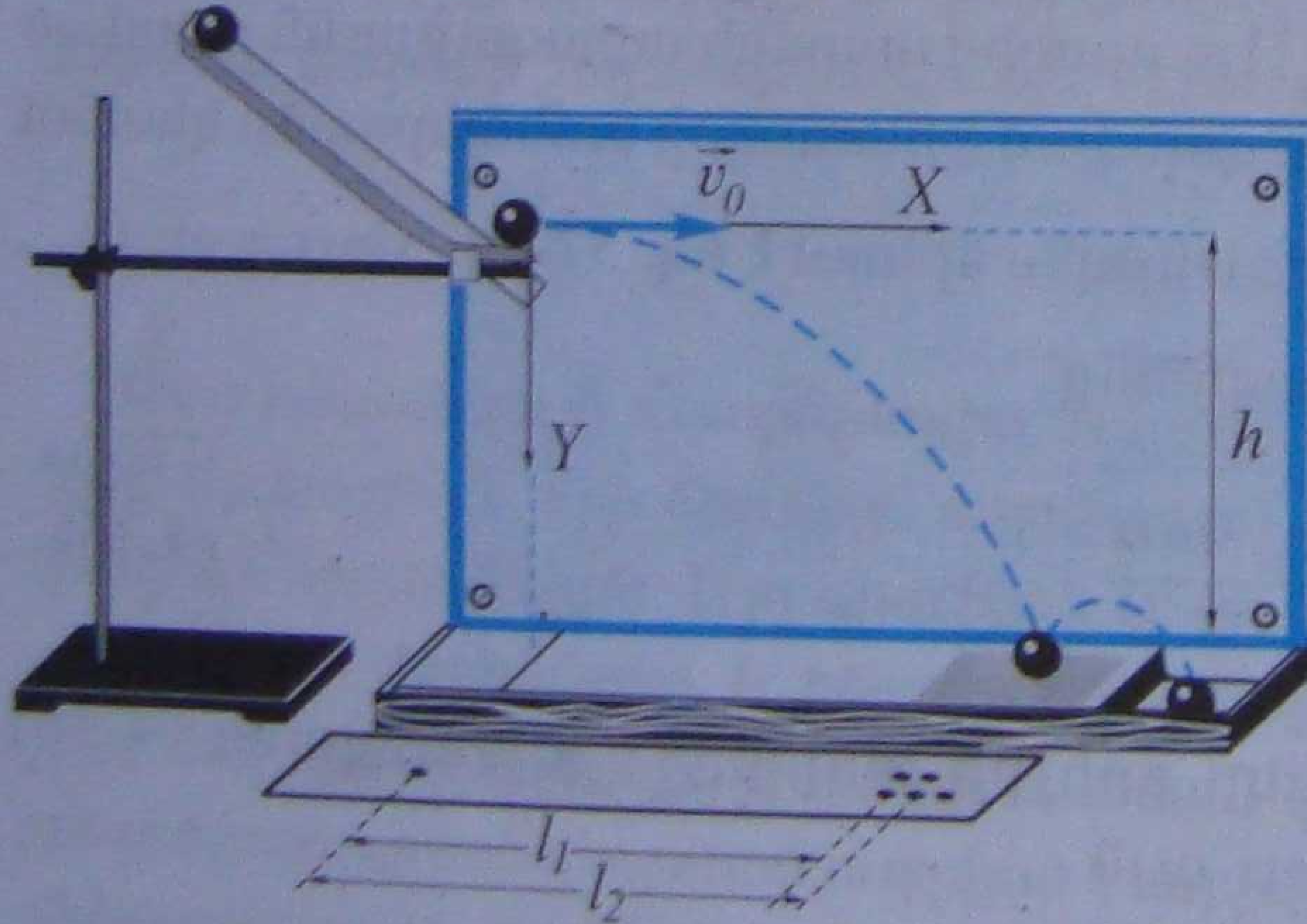
1. *Ինչպե՞ս են փոխվում անկյան տակ նետված մարմնի արագության v_x և v_y պրոյեկցիաները թռիչքի ընթացքում:*
2. *Ինչպե՞ս կփոխվի անկյան տակ նետված մարմնի թռիչքի առավելագույն բարձրությունը մարմնի սկզբնական արագությունը երկու անգամ մեծացնելիս:*
3. *Ինչու՞ է մեծանում թռիչքի հեռահարությունը, երբ մարզիկը ցատկում է թափավազքից:*
4. *Հետագծի ո՞ր կետում է արկի արագությունն ամենափոքրը:*
5. *Ինչպե՞ս է ուղղված անկյան տակ նետված մարմնի շարժման արագացումը վակուումում:*

§ 20. Լաբորատոր աշխատանք N2. Մարմնի պարաբոլային շարժման ուսումնասիրումը

Աշխատանքի նպատակը. Որոշել հորիզոնական ուղղությամբ նետված մարմնին հաղորդված շարժման սկզբնական արագությունը:

Չափամիջոցներ. 1. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. գնդիկ, 2. գնդիկը բաց թողնելու ոստնակ, 3. նրբատախտակ, 4. գրելու թուղթ, 5. պատճենաթուղթ, 6. սևեռակներ, 7. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով:



Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ամրակալանի օգնությամբ նրբատախտակն ամրացնել ուղղաձիգ դիրքով: Ամրակալանի նույն թաթով սեղմել ոստնակի ելուստը: Ճոռի ծայրը պետք է լինի հորիզոնական:

2. Սևեռակներով նրբատախտակին ամրացնել 20 սմ-ից ոչ պակաս երկարությամբ սպիտակ թուղթ և դրա վրա դնել պատճենաթուղթը:

3. Փորձը կրկնել 5 անգամ՝ գնդիկը բաց թողնելով ճոռի միևնույն տեղից, վերցնել պատճենաթուղթը:

4. Չափել h բարձրությունը և թռիչքի l հեռահարությունը: Չափման արդյունքները գրանցել աղյուսակում:

Փորձի համարը	*h, սմ*	*l, սմ*	*$l_{միջ}$, սմ*	*$v_{0միջ}$, սմ/վ*

5. $v_0 = l\sqrt{g/2h}$ բանաձևով հաշվել սկզբնական արագության միջին արժեքը՝ $v_{0միջ}$:

6. Օգտվելով $x = v_{0միջ}t$ և $y = gt^2/2$ բանաձևերից՝ գտնել մարմնի x կոորդինատը (y կոորդինատն արդեն հաշված է) յուրաքանչյուր 0,05 վայրկյանը մեկ և նրբատախտակին փակցրած թղթի վրա կառուցել շարժման հետագիծը.

t, վ	0	0,05	0,1	0,15	0,2
x, մ	0				
y, մ	0	0,012	0,049	0,11	0,19

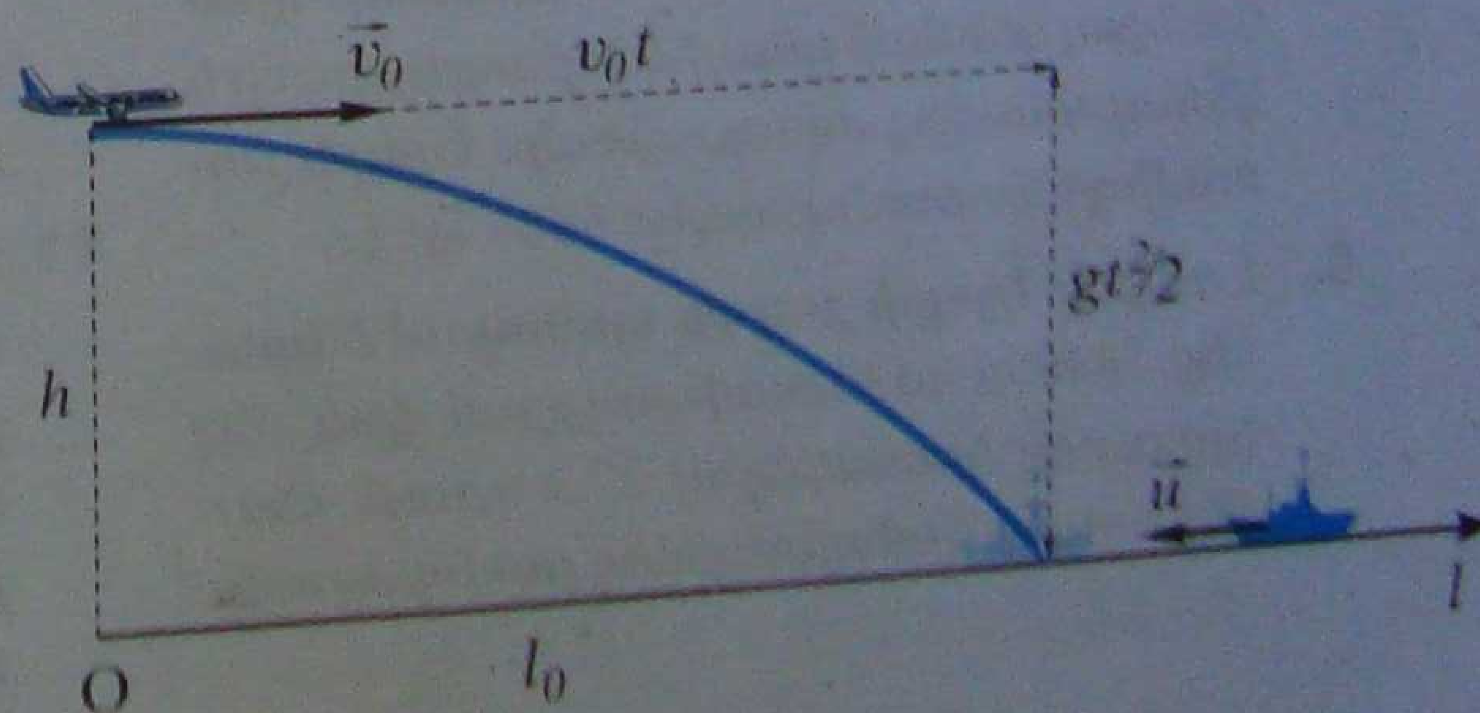
7. Գնդիկը բաց թողնել ճոռով և համոզվել, որ նրա շարժման հետագիծը մոտ է կառուցված պարաբոլին:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Ինքնաթիռը թռչում է օվկիանոսի մակարդակից 1125 մ բարձրությամբ՝ 720 կմ/ժ արագությամբ: Օդաչուն ցանկանում է ծանրոց գցել ինքնաթիռին ընդառաջ լողացող նավի մեջ, որը շարժվում է 36 կմ/ժ արագությամբ: Հորիզոնական ուղղությամբ նավից ի՞նչ հեռավորության վրա օդաչուն պետք է թողնի ծանրոցը, որպեսզի այն ընկնի նավի վրա:***

Լուծում: Նետված ծանրոցն ինքնաթիռից բաժանվելու պահին ունի հորիզոնական ուղղությամբ ուղղված, մոդուլով ինքնաթիռի արագությանը հավասար v_0 սկզբնական արագություն: Այդ պահն ընդունենք որպես ժամանակի հաշվարկման սկիզբ: Ջրի մակերևույթի O կետը, որը ժամանակի սկզբնական պահին ինքնաթիռի հետ գտնվում է նույն ուղղաձիգի վրա, ընդունենք որպես դիրքի հաշվարկման սկիզբ: Այդ պահին նավի դիրքաքիվը (որոնելի հեռավորությունը) նշանակենք l_0: Այդ դեպքում նավի դիրքաքիվի կախումը ժամանակից կունենա հետևյալ տեսքը՝ $l = l_0 - ut$, որտեղ u-ն նավի արագությունն է: Ինքնաթիռից պոկված ծանրոցի դիրքը ժամանակի ցանկացած պահին ստացվում է նետման տեղից հորիզոնական ուղղությամբ v_0t -ով, իսկ ուղղաձիգ ուղղությամբ՝ $gt^2/2$ -ով տեղափոխելով: Ջրի մակերևույթին հասնելու t_0 պահին ուղղաձիգ ուղղությամբ ծանրոցը տեղափոխվում է h -ով, ուրեմն՝ $h = gt_0^2/2$:

Այդ պահին հորիզոնական ուղղությամբ ծանրոցը տեղափոխված կլինի v_0t_0 -ով: Որպեսզի այն ընկնի նավի վրա, անհրաժեշտ է, որ այդ պահին նավը գտնվի սկզբնակետից նույն հեռավորության վրա, ուստի՝ նրա դիրքաքիվը հավասար լինի v_0t_0-ի, այսինքն՝ $v_0t_0 = l_0 - ut_0$:

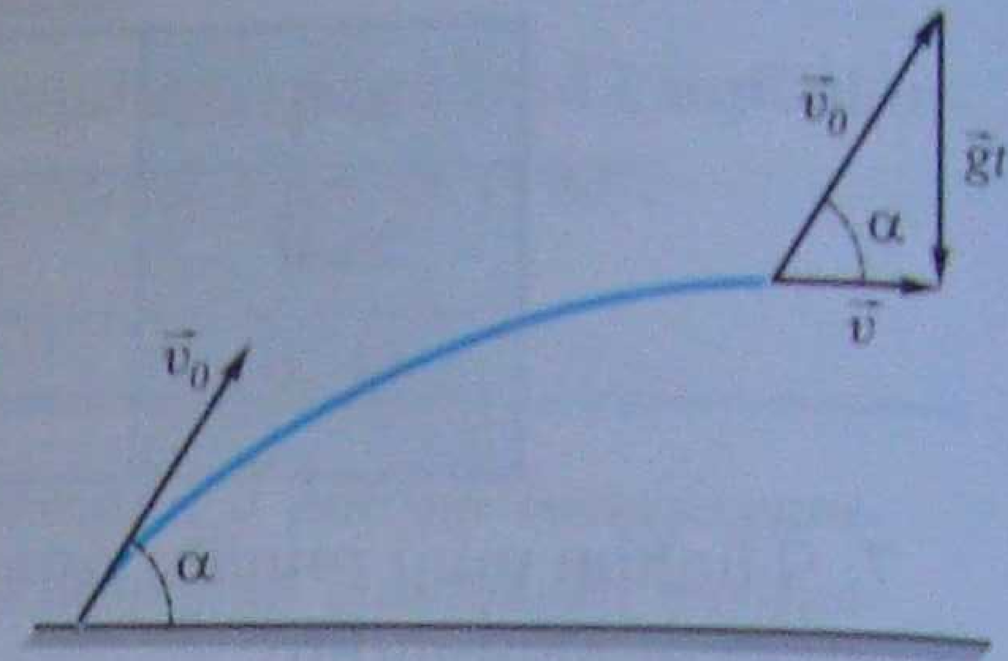


Համատեղ լուծելով վերը նշված հավասարումների համակարգը՝ կստանանք՝

$$l_0 = (v_0 + u)\sqrt{\frac{2h}{g}} :$$

ՄՀ-ում ինքնաթիռի և նավի արագությունները հավասար են $v_0 = 720$ կմ/ժ $= 200$ մ/վ, $u = 36$ կմ/ժ $= 10$ մ/վ, հետևաբար՝ $l_0 = 3150$ մ:

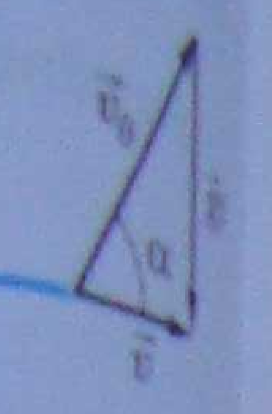
2. ***Մարմինը նետված է հորիզոնի նկատմամբ 60° անկյան տակ: Հետագծի ամենաբարձր կետում մարմնի արագությունը հավասար է 10 մ/վ-ի: Գտնել սկզբնական արագությունը:***



Լուծում: Ժամանակի ցանկացած պահին մարմնի արագությունը՝ $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$: Հետագծի ամենաբարձր կետում $\vec{v}$ -ն ուղղված է հորիզոնական ուղղությամբ, ուստի $\vec{v}_0$ և $\vec{g}t$ վեկտորների կազմած եռանկյունը ուղղանկյուն եռանկյուն է, որի մի անկյունն α է: Ինչպես երևում է նկարից, $v = v_0 cos\alpha$, որտեղից՝ $v_0 = v/cos\alpha = 20$ մ/վ :

Խնդիրներ

1. *Մարզիկը վազում է $R = 50$ մ շառավղով շրջանագծով, $v = 5$ մ/վ արագությամբ: Կառուցել նրա անցած ճանապարհի՝ ժամանակից կախումը պատկերող գրաֆիկը:*
2. *Ինչի՞ են հավասար ժամացույցի ժամ, րոպե և վայրկյան ցույց տվող սլաքների անկյունային արագությունները:*
3. *Երկրի՝ սեփական առանցքի շուրջը պտտման անկյունային արագությունը քանի՞ անգամ է մեծ Արեգակի շուրջը նրա պտտման անկյունային արագությունից:*
4. *Հավասարաչափ շրջանագծային շարժում կատարող մարմնի պտտման պարբերությունը 4 վ է: Որոշել այդ կետի պտտման անկյունային և գծային արագությունները, եթե շրջանագծի շառավիղը 5 մ է:*
5. *Երկրի բևեռներով անցնող առանցքով անշարժ հաշվարկման համակարգում ինչի՞ են հավասար հասարակածի վրա գտնվող կետերի գծային արագությունը և կենտրոնաձիգ արագացումը: Երկրի շառավիղը մոտավորապես 6400 կմ է:*
6. *Լուսինը Երկրի շուրջը պտտվում է նրանից 384000 կմ հեռավորության վրա՝ մեկ պտույտը կատարելով 27,3 օրում: Հաշվել Լուսնի կենտրոնաձիգ արագացումը:*
7. *Գտնել Երկրի՝ Արեգակի շուրջը պտտման գծային արագությունը, եթե Երկրի ուղեծրի շառավիղը (Արեգակ-Երկիր հեռավորությունը) 150000000 կմ է:*
8. *50 մ շառավղով շրջանագծով հավասարաչափ շարժվող մարմինը 10 վ-ի ընթացքում պտտվում է 1,57 ռադ. անկյամբ: Գտնել այդ ընթացքում մարմնի անցած ճանապարհը և գծային արագությունը:*
9. *3 մ երկարությամբ ձողը հավասարաչափ պտտվում է իր ծայրերից մեկով անցնող առանցքի շուրջը: Մյուս ծայրը շարժվում է 9 մ/վ արագությամբ: Պտտման առանցքից ի՞նչ հեռավորության վրա է գտնվում ձողի այն կետը, որի գծային արագությունը 3 մ/վ է:*
10. *Ինքնաթիռը հորիզոնական ուղղությամբ թռչում է 4500 մ բարձրության վրա՝ 250 մ/վ արագությամբ: Մինչ նպատակակետը ի՞նչ հեռավորության վրա պետք է օդաչուն բեռն արձակի, որպեսզի այն հասնի նպատակակետին: Օդի դիմադրությունն անտեսել:*
11. *Որոշ բարձրությունից, միևնույն կետից միաժամանակ հորիզոնական ուղղությամբ միմյանց հակառակ նետում են երկու գնդիկներ՝ 2 մ/վ և 4 մ/վ արագություններով: Ի՞նչ հեռավորության վրա կգտնվեն գնդիկները 4 վ հետո: Օդի դիմադրությունն անտեսել:*



12. *Քարը նետված է հորիզոնական ուղղությամբ: 3 վ հետո արագության վեկտորը հորիզոնի նկատմամբ կազմեց 45° անկյուն: Ինչպիսի՞ն էր այդ պահին քարի արագության մոդուլը: Օդի դիմադրությունն անտեսել:*

13. *Գնդակը հրացանից դուրս է թռչում հորիզոնական ուղղությամբ, 800 մ/վ սկզբնական արագությամբ: Թռիչքի ընթացքում ուղղաձիգ ուղղությամբ որքա՞ն կիջնի գնդակը, եթե մինչև նպատակակետ հեռավորությունը 600 մ է: Օդի դիմադրությունն անտեսել:*

ԳԼՈՒԽ 4-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Կորագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում արագության վեկտորի մոդուլը հաստատուն է, իսկ ուղղությունը շարժման ընթացքում անընդհատ փոփոխվում է: Հետագծի յուրաքանչյուր կետում արագության վեկտորն ուղղված է այդ կետում հետագծին տարված շոշափողով: Արագացման վեկտորը հետագծի յուրաքանչյուր կետում ուղղահայաց է արագությանը, ուստի նրա ուղղությունը ժամանակի ընթացքում ևս փոփոխվում է:

2. Հավասարաչափ շրջանագծային շարժման դեպքում արագացման մոդուլը հաստատուն է, իսկ ուղղությունն անընդհատ փոփոխվում է: Շրջանագծի յուրաքանչյուր կետում արագացումն ուղղված է դեպի շրջանագծի կենտրոն, որի պատճառով էլ այն կոչվում է կենտրոնաձիգ արագացում:

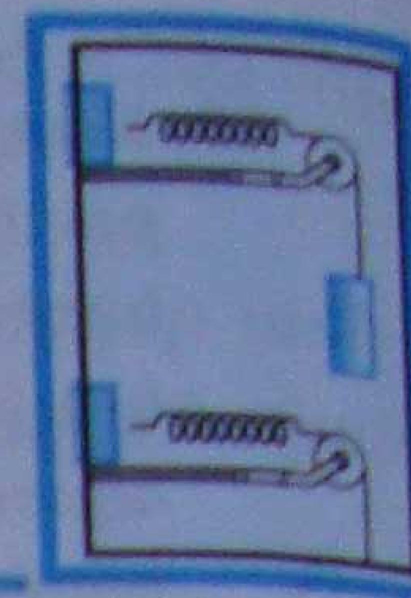
3. Կորագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման դեպքում հաստատուն են մնում արագացման և՛ մոդուլը, և՛ ուղղությունը: Այդ շարժման հետագիծը պարաբոլ է:

4. Հաստատուն արագացմամբ շարժվող մարմնի արագությունը և դիրքի շառավիղ-վեկտորը ժամանակի կամայական պահին որոշվում են

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad \text{և} \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \vec{a}t^2/2$$

բանաձևերով:

5. Եթե մարմնի արագացման վեկտորը և սկզբնական արագությունն ուղղված են նույն ուղղով, ապա մարմինը կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում: Մասնավորապես, ազատ ընկնող մարմինը կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում, եթե նրա սկզբնական արագությունն ուղղված է ուղղաձիգով:

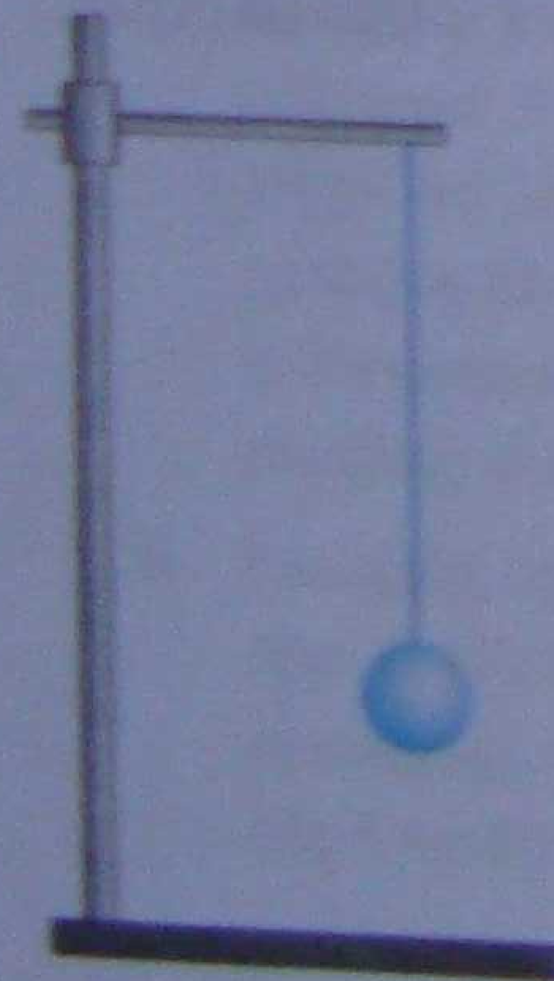


5 ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ներածություն

«Կինեմատիկայի հիմունքները» բաժնում մենք ծանոթացանք այնպիսի մեծությունների, որոնք կիրառվում են մեր շրջակա աշխարհում դիտվող տարբեր շարժումներ նկարագրելու համար: Իմացանք նաև, որ մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծման համար պետք է գիտենալ արագացումը: Չէ՞ որ գլխավորը, որով մի շարժում տարբերվում է մյուսից, հենց արագացումն է: Այսպես, ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումը մյուս շարժումներից տարբերվում է նրանով, որ այդպիսի շարժման դեպքում արագացումը հավասար է զրոյի, կորագիծ հավասարաչափ շարժումը՝ նրանով, որ արագացումը հետագծի յանկացած կետում ուղղահայաց է այդ կետով հետագծին տարված շոշափողին, հավասարաչափ արագացող շարժումը՝ նրանով, որ արագացումը մոդուլով և ուղղությամբ հաստատուն է, շրջանագծային հավասարաչափ շարժումը՝ նրանով, որ արագացման մոդուլը հաստատուն է և շրջանագծի յանկացած կետում ուղղված է դեպի կենտրոն և այլն: Ուստի հասկանալի է, թե որքան կարևոր է կարողանալ գտնել արագացումները: Բայց արագացումները գտնելու համար առաջին հերթին պետք է իմանալ, թե ինչու են առաջանում դրանք, որն է արագացման առաջացման պատճառը: Կինեմատիկայում մենք ուսումնասիրեցինք մարմինների տարբեր շարժումներ, առանց քննարկելու դրանք առաջ բերող պատճառները, պարզեցինք, թե ինչպես է տեղի ունենում շարժումը (օրինակ՝ արագացմա՞մբ, թե՞ առանց արագացման): Իսկ այն հարցին՝ ո՞րն է արագացման պատճառը, ինչու՞ են մարմինները շարժվում այսպես և ոչ թե այլ կերպ, պատասխանում է մեխանիկայի գլխավոր բաժինը՝ դինամիկան:

§ 21. Նյուտոնի առաջին օրենքը: Իներցիալ հաշվարկման համակարգեր



Նկ. 58

Նախքան արագացումների առաջացման պատճառը որոնելը պարզենք, թե ինչ պայմաններում է մարմինը շարժվում առանց արագացման, այսինքն՝ երբ է նրա արագությունը ժամանակի ընթացքում մնում անփոփոխ: Այդ պայմանները խախտվելու դեպքում մարմնի արագությունը կսկսի փոփոխվել, ի հայտ կգա արագացում, ու պարզ կդառնա, թե որն է արագացման պատճառը:

Դիտարկենք դադարի վիճակում գտնվող որևէ մարմին: Նկ.58-ում ցույց է տրված ռետինե լարից կախված գնդիկ: Երկրի նկատմամբ գնդիկը գտնվում է դադարի վիճակում: Նրա շուրջը կան բազմաթիվ այլ մարմիններ՝ լարը, որից այն կախված է, սենյակի պատերը, տարբեր առարկաներ այդ և հարևան սենյակներում և, իհարկե, նաև Եր-

կիրը: Թվարկված բոլոր մարմիններն էլ որևէ կերպ ազդում են գնդիկի վրա, ընդ որում, որոշ մարմիններ էապես են ազդում, մյուսները՝ աննշան չափով միայն: Եթե, օրինակ, տեղաշարժենք սենյակի կախույքը, ապա դա որևէ զգալի ազդեցություն չի թողնի գնդիկի վրա: Բայց եթե կտրենք լարը, ապա գնդիկն անմիջապես կսկսի ազատ անկում կատարել, այսինքն՝ ձեռք կբերի g արագացում:

Հայտնի է, որ հենց Երկրի ազդեցությամբ են բոլոր մարմինները վայր ընկնում: Բայց քանի դեռ լարը կտրված չէր, գնդիկն, այնուամենայնիվ, գտնվում էր դադարի վիճակում: Այս պարզ փորձը ցույց է տալիս, որ գնդիկը շրջապատող բոլոր մարմիններից միայն երկուսն են նկատելիորեն ազդում նրա վրա՝ ռետինե լարն ու Երկիրը: Բավական եղավ հեռացնել այդ մարմիններից մեկը՝ լարը, և դադարի վիճակը խախտվեց: Եթե հրաշքով հնարավոր լիներ, պահպանելով ձգված լարի ազդեցությունը, հեռացնել Երկիրը, ապա գնդիկն արագացմամբ դեպի վերև կշարժվեր: Սա մեզ բերում է այն եզրակացության, որ երկու մարմինների՝ լարի և Երկրի ազդեցությունները գնդիկի վրա համակշռվում են (երբեմն ասում են՝ հավասարակշռվում են):

Երբ ասվում է, թե երկու կամ մի քանի մարմինների ազդեցությունները համակշռում են միմյանց, հասկացվում է հետևյալը՝ մարմինների համատեղ ազդեցության արդյունքն այնպիսին է, ինչպիսին կլիներ, երբ այդ մարմինները բացակայեին:

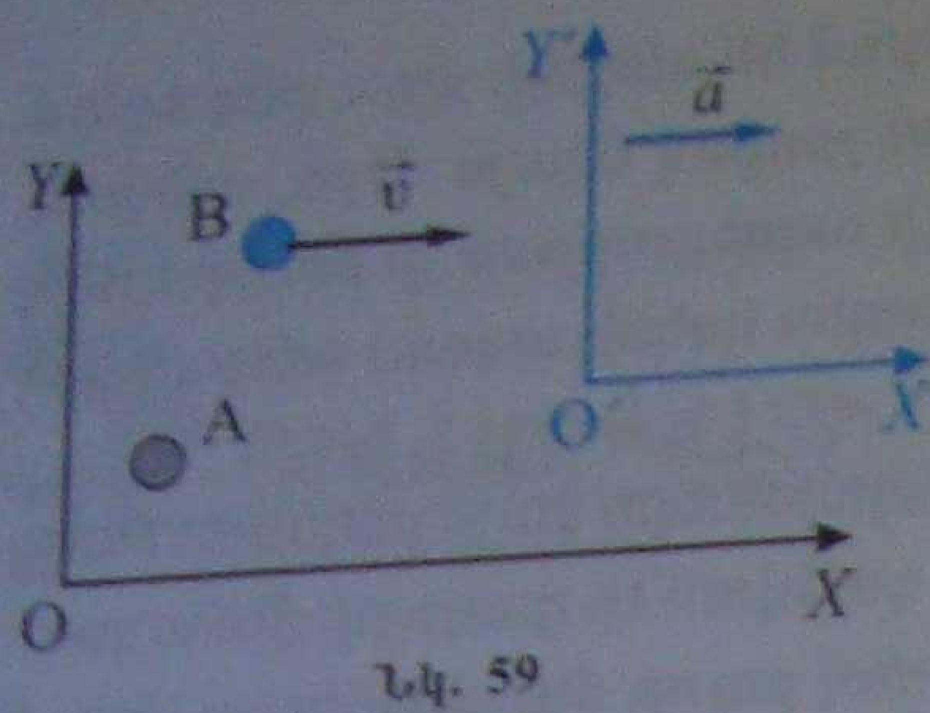
Դիտարկենք սառույցի վրա դադարի վիճակում գտնվող տափօղակը: Այս դեպքում Երկրի ազդեցությունը տափօղակի վրա համակշռվում է հենարանի՝ սառույցի ազդեցությամբ: Երբ հոկեյիստը մականով հարվածում է տափօղակին, վերջինիս վրա ազդեցությունների հավասարակշռությունը խախտվում է, որի հետևանքով տափօղակը սկսում է շարժվել՝ ձեռք բերելով որոշ արագություն: Հարվածից հետո, երբ մականի ազդեցությունը տափօղակի վրա արդեն վերացել է, առաջվա նման Երկրի ազդեցությունը համակշռվում է սառույցի ազդեցությամբ, և տափօղակը հարվածից հետո շարժվում է ուղիղ գծով համարյա հաստատուն արագությամբ: Ճիշտ է, տափօղակը վերջիվերջո կանգ է առնում, բայց փորձից հայտնի է, որ ինչքան ողորկ լինեն սառույցն ու տափօղակը, այնքան տափօղակի շարժումը տևական կլինի: Ուստի հասկանալի է, որ եթե բոլորովին վերացվեր շարժվող տափօղակի վրա սառույցի ունեցած այն ազդեցությունը, որը կոչվում է շփում, ապա տափօղակի վրա բոլոր ազդեցությունների հավասարակշռությունը կվերականգնվեր, և այն կշարունակեր շարժվել հաստատուն արագությամբ:

Մեր քննարկած օրինակները և ուրիշ շատ այդպիսի օրինակներ թույլ են տալիս անել հետևյալ եզրակացությունը. եթե մարմնի վրա այլ մարմիններ չեն ազդում, կամ դրանց ազդեցությունները համակշռվում են, ապա մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում կամ կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում, այսինքն՝ մարմինն իր արագությունը հաստատուն է պահում:

Այն մարմինը, որի վրա արտաքին ազդեցություններ չկան, անվանում են ***ազատ*** կամ ***առանձնացված մարմին***: Ազատ մարմնի՝ իր արագությունը հաստատուն պահելու երևույթն անվանում են ***իներցիա***, մարմնի այդ հատկությունը՝ ***իներտություն***, իսկ նրա շարժումը՝ շարժում իներցիայով:

Առաջին անգամ ազատ մարմնի շարժման խոր և բազմակողմանի վերլուծություն կատարել է Գալիլեո Գալիլեյը: Մինչ Գալիլեյը իշխում էր հույն գիտնական Արիստոտելի ուսմունքն այն մասին, որ մարմինը շարժվում է միայն այն դեպքում, երբ նրա վրա այլ մարմիններ են ազդում: Բազմաթիվ փորձերի և դիտարկումների արդյունքում Գա-

լիկը ձևակերպեց ***իներցիայի օրենքը. ազատ մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում կամ շարժվում է իներցիայով՝ ուղղագիծ և հավասարաչափ***:



Նկ. 59

Մեր քննարկած օրինակները վկայում են այն մասին, որ Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգում իներցիայի օրենքը ճիշտ է: Բայց չէ՞ որ շարժում և դադար հասկացությունները հարաբերական են: Եթե մի հաշվարկման համակարգի նկատմամբ մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում, ապա այլ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ այն կարող է շարժվել: Դիցուք՝ Երկրի հետ կապված *XOY* հաշվարկման համակարգում A մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում, իսկ B մարմինը շարժվում է ուղղագիծ և հավասարաչափ (նկ. 59): Այս համակարգում իներցիայի օրենքը ճիշտ է: Վերցնենք $\vec{a}$ արագացմամբ շարժվող X′O′Y′ համակարգը և պարզենք՝ ճի՞շտ է արդյոք իներցիայի օրենքն այդ համակարգում: X′O′Y′ համակարգի նկատմամբ A և B մարմինները կատարում են արագացող շարժում, չնայած նրանց վրա այլ մարմիններ չեն ազդում: Հետևաբար՝ արագացմամբ շարժվող հաշվարկման համակարգերում իներցիայի օրենքը ճիշտ չէ:

Այսպիսով, մենք եկանք այն եզրակացության, որ իներցիայի օրենքը ճիշտ է մի համակարգում և սխալ է մի այլ համակարգում: Նշանակում է՝ առանց հաշվարկման համակարգը նշելու այն անիմաստ է: Այն հաշվարկման համակարգերը, որոնցում ճիշտ է իներցիայի օրենքը, կոչվում են ***իներցիալ հաշվարկման համակարգեր***:

Իրականում համակարգը կարող է լինել իներցիալ այս կամ այն կարգի ճշտությամբ: Առօրյա փորձը հաստատում է, որ իներցիայի օրենքը ճիշտ է երկրային պայմաններում: Բայց չէ՞ որ Երկիրը պտտվում է սեփական առանցքի և Արեգակի շուրջը: Հետևաբար, Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգը հեռավոր աստղերի նկատմամբ շարժվում է արագացմամբ: Արդյո՞ք այստեղ հակասություն չկա: Մի կողմից փորձը վկայում է, որ իներցիայի օրենքը Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգում ճիշտ է, մյուս կողմից՝ այդ համակարգը շարժվում է արագացմամբ: Այո՛, հակասություն կա: Բայց գործնականում, Երկրի վրա ընթացող շատ երևույթներում Երկրի հետ կապված հաշվարկման համակարգը կարելի է համարել իներցիալ: Դա բացատրվում է նրանով, որ մարմինների՝ Երկրի օրական պտույտով պայմանավորված արագացումը շատ փոքր է: Իրոք, կենտրոնաձիգ արագացման (գլուխ 4) բանաձևի մեջ տեղադրելով Երկրի շառավղի ($R = 6400$ կմ) և օրական պտույտի պարբերության ($T = 24$ ժ) արժեքները՝ կստանանք, որ մարմինների արագացումը հասարակածի վրա (որտեղ այն առավելագույնն է) հավասար է 0,03 մ/վ^2: Այս արագացումը մոտավորապես 330 անգամ փոքր է g ազատ անկման արագացումից, հետևաբար՝ նույնիսկ հատուկ փորձերով հայտնաբերել երկրային համակարգի ոչ իներցիալությունը շատ դժվար է:

«Բնափիլիսոփայության մաթեմատիկական հիմունքները» նշանավոր աշխատության մեջ (1687թ.) Նյուտոնը ձևակերպեց դինամիկայի օրենքները, որոնց հիման վրա կառուցեց դասական մեխանիկան: Նա, XVII դարի այլ գիտնականների նման, համոզված էր Գալիլեյի ճշմարտացիության մեջ և իներցիայի մասին օրենքը դասեց դինամիկայի օրենքների շարքը, որպես առաջին օրենք, հետևյալ ձևակերպմամբ. «Յուրաքան-

չյուր մարմին պահպանում է ուղղագիծ և հավասարաչափ շարժման վիճակը, քանի դեռ և որքանով որ այն արտաքին ուժերի կողմից ստիպված չէ փոխել այդ վիճակը»:

Քանի որ իներցիայի օրենքը ճիշտ է միայն իներցիալ հաշվարկման համակարգերում, ապա նախընտրելի է Նյուտոնի առաջին օրենքի հետևյալ ձևակերպումը. ***գոյություն ունեն այնպիսի հաշվարկման համակարգեր, որոնցում մարմինը պահպանում է դադարի կամ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման վիճակը, եթե նրա վրա այլ մարմիններ չեն ազդում, կամ դրանց ազդեցությունները համակշռվում են***:

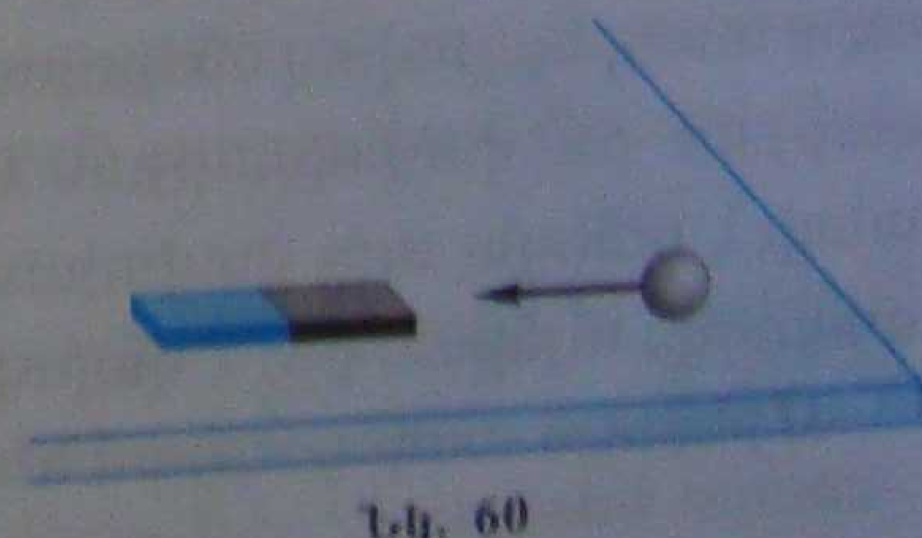
Նյուտոնի առաջին օրենքը թույլ է տալիս առանձնացնել իներցիալ հաշվարկման համակարգերը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

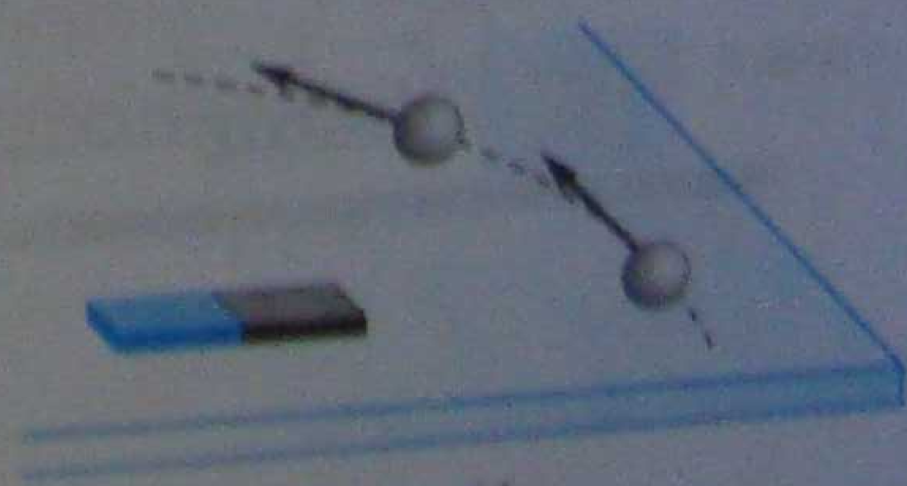
1. *Ի՞նչ է նշանակում «մի քանի մարմինների ազդեցությունները համակշռվում են» արտահայտությունը:*
2. *Ո՞ր մարմինն է կոչվում ազատ:*
3. *Ո՞ր երևույթն են անվանում իներցիա:*
4. *Տվե՛ք իներցիայի օրենքի Գալիլեյի ձևակերպումը:*
5. *Ո՞ր համակարգերն են կոչվում իներցիալ:*
6. *Ձևակերպե՛ք Նյուտոնի առաջին օրենքը:*

§ 22. Զանգված: Զանգվածը որպես իներտության չափ: Զանգվածի միավորը: Խտություն, նրա միավորը

Նյուտոնի առաջին օրենքի համաձայն՝ առանձնացված մարմինը շարժվում է իներցիայով, առանց արագացման: Ուրեմն, որպեսզի մարմնին արագացում հաղորդենք, պետք է «հաղթահարենք» նրա իներտությունը, ստիպենք շարժվել արագացմամբ՝ հակառակ արագության վեկտորը հաստատուն պահելու մարմնի «ձգտմանը»: Դրա համար պետք է լինի մեկ ուրիշ մարմին կամ մի քանի մարմիններ, որոնց ազդեցությունները մարմնի վրա համակշռված չլինեն: Այդ դեպքում մարմինն առանձնացված չի լինի և կշարժվի արագացմամբ: Այսպես, ազատ անկում կատարող մարմինները շարժվում են արագացմամբ: Նրանց արագացումն առաջացնող մարմինը Երկիրն է: Սառույցի վրա ընկած տափօղակն իր արագությունը փոխում է մականի հարվածի հետևանքով: Տափօղակին արագացում հաղորդող մարմինը մականն է: Մագնիսը մոտեցնենք երկաթե գնդիկին: Գնդիկը, որը մինչ այդ դադարի վիճակում էր, մագնիսի ազդեցությամբ սկսում է շարժվել արագացմամբ (նկ. 60):


Նկ. 60

Երբ մագնիսը մոտեցնենք շարժվող գնդիկին այնպես, ինչպես ցույց է տրված նկ. 61-ում, ապա կփոխվի այդ շարժման արագության ուղղությունը. գնդիկի շարժման հետագիծը կկորանա: Դա, ինչպես գիտենք, նշանակում է, որ գնդիկը ձեռք է բերել կենտրոնաձիգ արագացում: Այս փորձում մենք կրկին տեսնում ենք, որ արտաքին մարմնի՝ մագնիսի ազդեցու-


Նկ. 61

թյունը գնդիկի շարժման փոփոխության և ոչ թե շարժման պատճառն է: Չէ՞ որ գնդիկը շարժվում էր նաև մինչև մագնիսը մոտեցնելը:

Այսպիսով՝ մարմնի շարժման արագացման պատճառն այլ մարմինների չհամակշռված ազդեցությունն է մարմնի վրա:

Ինչի՞ց է կախված արտաքին ազդեցության հետևանքով մարմնի շարժման արագության փոփոխության բնութագրի՝ արագացման մոդուլը: Այս հարցի պատասխանը գտնելու համար նորից դիմենք փորձի օգնությանը: Նախ՝ M_1 մարմնի վրա հորիզոնական ուղղությամբ հաստատուն արտաքին ազդեցություն գործենք (նկ. 62): Փորձը ցույց է տալիս, որ ***հաստատուն արտաքին ազդեցության դեպքում մարմինը շարժվում է հաստատուն արագացմամբ***: Ուրեմն, չափելով որևէ s_1 ճանապարհի անցնելու t_1 ժամանակը, $s_1 = a_1 t_1^2/2$ բանաձևից կարող ենք հաշվել մարմնի a_1 արագացումը:

Այնուհետև՝ նույնպիսի արտաքին ազդեցություն գործենք M_2 մարմնի վրա (նկ. 63): Մարմինների վրա միատեսակ ազդեցություն կապահովենք թելից կախված բեռի ընտրությամբ, այնպես, որ երկու դեպքում էլ զսպանակը միևնույն չափով ձգված լինի (պարզության համար կենթադրենք, որ սեղանի և մարմնի շփումը բացակայում է): Չափելով երկրորդ մարմնի a_2 արագացումը, կհամոզվենք, որ ***միևնույն արտաքին ազդեցության հետևանքով տարբեր մարմիններ շարժվում են տարբեր արագացումներով***:

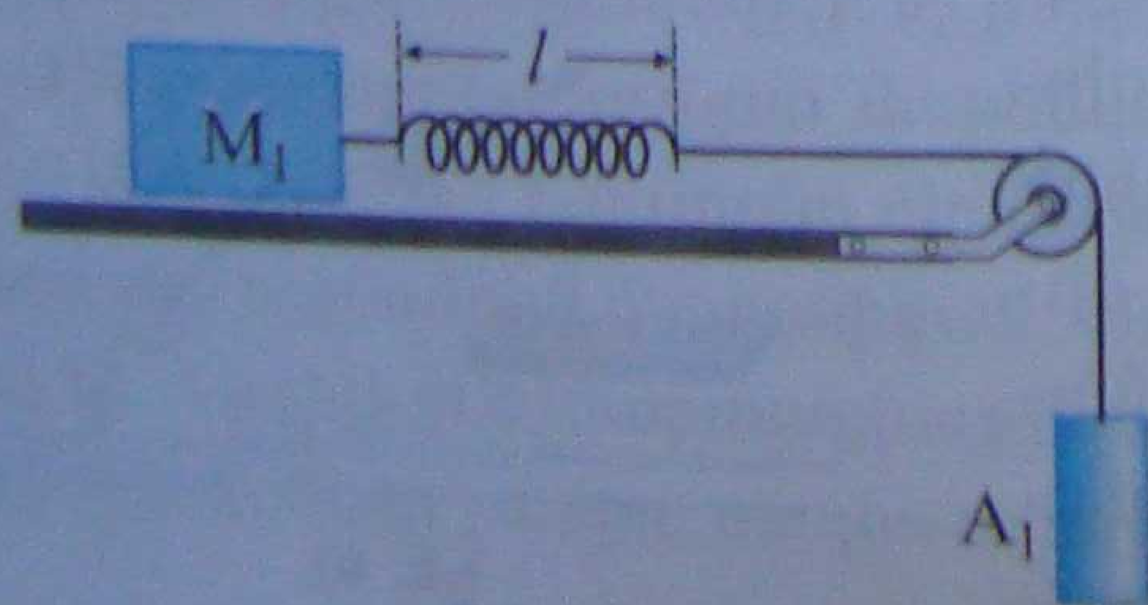
Այժմ որոշենք մարմինների a_1' և a_2' արագացումները զսպանակի ուրիշ, բայց դարձյալ միևնույն երկարացումների (արտաքին ազդեցությունների) դեպքում:

Փորձը ցույց է տալիս, որ ***տարբեր պայմաններում միևնույն արտաքին ազդեցության ենթարկվող մարմինների շարժման արագացումների մոդուլների հարաբերությունը հաստատուն է***.

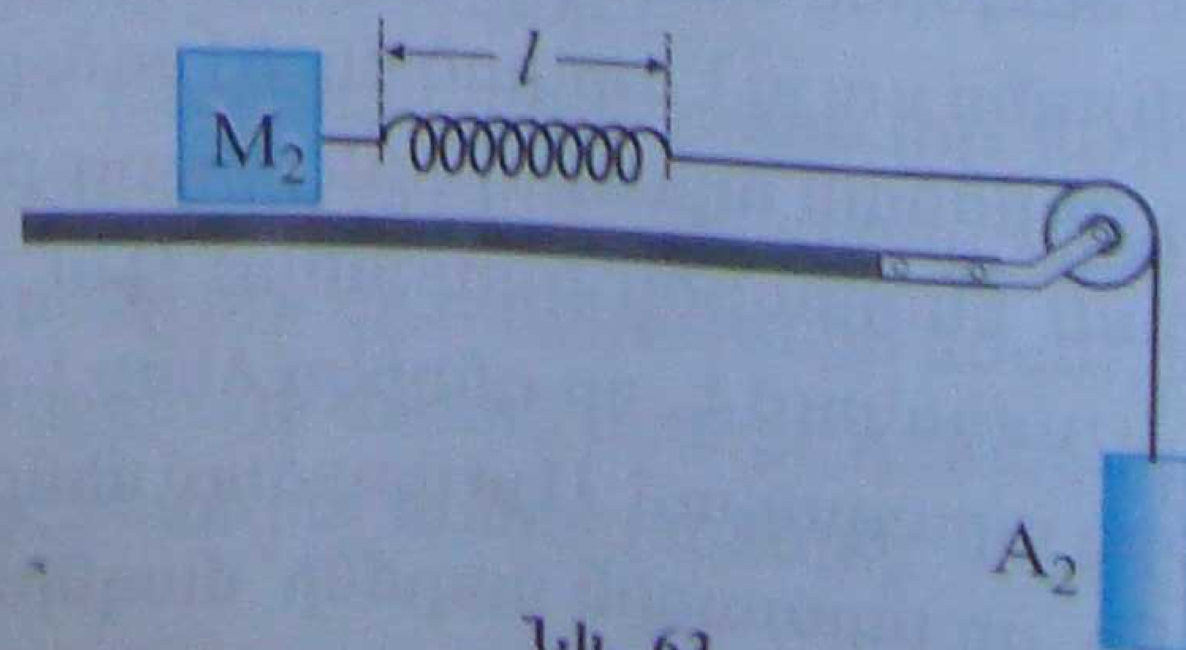
$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{a_1'}{a_2'} = const :$$

Փորձի այն արդյունքը, որ միևնույն արտաքին ազդեցության հետևանքով տարբեր մարմիններ շարժվում են տարբեր արագացումներով, վկայում է այն մասին, որ մարմնի արագացումը կախված է ոչ միայն արտաքին ազդեցությունից, այլև մարմնի ինչ-որ ***սեփական*** հատկությունից: Այն փաստից, որ մարմինների արագացումները տարբեր են, կարելի է եզրակացնել, որ հավասար ժամանակամիջոցներում նրանց արագությունները տարբեր չափով են փոխվում: Հիշենք, որ մարմնի արագացումը հավասար է արագության $\Delta\vec{v}$ փոփոխության և այն Δt ժամանակի հարաբերությանը, որի ընթացքում տեղի է ունեցել այդ փոփոխությունը՝ $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$, ուստի՝ որքան փոքր է մարմնի արագացումը, այնքան քիչ է փոխվում նրա արագությունը տվյալ Δt ժամանակամիջոցում:

Միևնույն ազդեցության հետևանքով նույն ժամանակում իր շարժման արագությու-



Նկ. 62



Նկ. 63

ըր քիչ փոխած մարմնի մասին ասում են, որ այն ավելի ***իներտ*** է, քան մյուսը: Չէ՞ որ եթե այն բոլորովին չփոխեր իր արագությունը, ապա կշարժվեր իներցիայով, այսինքն` ուղղագիծ և հավասարաչափ: Իներտությունը, որով օժտված է յուրաքանչյուր մարմին, մարմնի կարևորագույն հատկություններից մեկն է, որովհետև իներտությունից է կախված այն արագացումը, որով մարմինը սկսում է շարժվել արտաքին ազդեցության հետևանքով: ***Մարմնի իներտության չափը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունն անվանում են զանգված:***

Քանի որ միատեսակ ազդեցության հետևանքով տրված երկու մարմինների շարժման արագացումների մոդուլների հարաբերությունը հաստատուն է` $a_1/a_2 = const$, և այն մարմինը, որի արագացումը փոքր է, ավելի իներտ է, ապա երկրորդ մարմինը, որի արագացումը մեծ է, $a_1/a_2$ անգամ փոքր զանգված ունի, քան առաջին մարմինը: Եթե մարմինների զանգվածները նշանակենք $m_1$-ով և $m_2$-ով, ապա`

$$m_2 = \frac{a_1}{a_2} \cdot m_1 : \qquad (5.1)$$

Առանձին մարմնի զանգվածն արտահայտող թիվը գտնելու համար անհրաժեշտ է որևէ մարմնի զանգվածը համարել որպես զանգվածի չափանմուշ, որից հետո բոլոր մարմինների զանգվածները համեմատել այդ մարմնի զանգվածի հետ: Որպես զանգվածի չափանմուշ ընդունված է պլատինի և իրիդիումի համաձուլվածքից հատուկ պատրաստված մոտ 39 մմ տրամագծով և նույնքան բարձրությամբ գլանի զանգվածը: Զանգվածի չափանմուշը պահվում է Չափերի և կշիռների միջազգային բյուրոյում` Ֆրանսիայի Սևր քաղաքում (Փարիզի մոտ): Հենց այդ գլանի զանգվածն էլ զանգվածի միջազգային միավորն է` կիլոգրամը (կրճատ` կգ): Բավարար ճշգրտությամբ կարելի է ընդունել, որ 1 կգ է նաև 1 լ մաքուր ջրի զանգվածը 15°C-ում:

Զանգվածի միավորը երկարության միավորի (մ) և ժամանակի միավորի (վ) հետ դասվում է ՄՀ-ի հիմնական միավորների շարքին:

Իհարկե, անհրաժեշտություն չկա մարմնի զանգվածը որոշելու համար այն անպայմանորեն համեմատել զանգվածի չափանմուշի հետ: Այդպիսի եղանակը գործնականում հարմար չէ: Գոյություն ունի զանգվածը չափելու ուրիշ եղանակ` կշռումը, որին դուք ծանոթացել եք VII դասարանի ֆիզիկայի դասընթացում: Բայց որոշ դեպքերում զանգվածն արագացումների միջոցով որոշելը միակ հնարավոր եղանակն է: Հնարավոր չէ, օրինակ, կշռելով չափել մոլորակների, աստղերի և երկնային այլ մարմինների զանգվածը: Կշեռքով հնարավոր չէ չափել նաև ատոմների և տարրական մասնիկների զանգվածները և այլն:

Զանգվածի կարևոր հատկություններից մեկն էլ նրա ադիտիվությունն է, այսինքն` մարմնի զանգվածը հավասար է նրա մասերի զանգվածների գումարին:

Մարմնի` տարածության որոշակի տիրույթ զբաղեցնելու հատկությունն արտահայտվում է ծավալով: Եթե $m$ զանգվածով մարմինը զբաղեցնում է $V$ ծավալ, ապա $m/V$ հարաբերությունը ցույց կտա ***միավոր ծավալով նյութի զանգվածը***, որը կոչվում է ***խտություն***: Սովորաբար այն նշանակվում է $\rho$ տառով`

$$\rho = \frac{m}{V} :$$

Միավորների ՄՀ-ում խտության միավորը 1 կգ/մ³-ն է: Նյութի խտության հայտնի լինելը հնարավորություն է տալիս հաշվելու հայտնի զանգվածով մարմնի ծավալը, երբ այն դժվար է հաշվել երկրաչափական մեթոդներով, կամ հաշվել մարմնի զանգվածը՝ առանց այն կշռելու, երբ նրա ծավալը որոշելն ավելի հեշտ է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞րն է մարմինների արագացման պատճառը:*
2. *Ինչո՞վ բացատրել այն փաստը, որ միևնույն արտաքին ազդեցության հետևանքով մարմինները ձեռք են բերում տարբեր արագացումներ:*
3. *Ո՞րն է մարմնի իներտություն կոչվող հատկությունը:*
4. *Ի՞նչ ենք հասկանում՝ ասելով, որ մի մարմինը մյուսից 3 անգամ ավելի իներտ է:*
5. *Ո՞ր ֆիզիկական մեծություններն են զանգված անվանում:*
6. *Ո՞ր մարմնի զանգվածն է ընդունված որպես զանգվածի չափանմուշ:*
7. *Ինչպե՞ս է կոչվում զանգվածի միավորը ՄՀ-ում: Այն հիմնակա՞ն, թե՞ ածանցյալ միավոր է:*
8. *Ինչքա՞ն է 1մ³ մաքուր ջրի զանգվածը 15°C-ում:*
9. *Մարմնի ո՞ր հատկություններն է արտահայտում ծավալը:*
10. *Ի՞նչ է ցույց տալիս մարմնի խտությունը:*
11. *Ո՞րն է խտության միավորը ՄՀ-ում:*

§ 23. Ուժ: Նյուտոնի երկրորդ օրենքը

Հիշենք, որ մեր խնդիրն է պարզել, թե ինչպես պետք է հաշվել մարմնի շարժման արագացումը, առանց որի անհնար է լուծել մեխանիկայի հիմնական խնդիրը:

Ինչպես գիտենք, մարմնի շարժման արագացման պատճառն այլ մարմինների չհամակշռված ազդեցությունն է նրա վրա: 7-րդ դասարանի դասընթացից ձեզ հայտնի է նաև, որ այլ մարմինների ազդեցության հետևանքով մարմինը կարող է դեֆորմացվել: Ուսումնասիրվող մարմնին արագացում հաղորդող կամ դեֆորմացիա առաջացնող այլ մարմինների ազդեցությունը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունն անվանում են ***ուժ***: Եվ «մարմինը ձեռք է բերել արագացող շարժում այլ մարմինների ազդեցության հետևանքով» ասելու փոխարեն ասում են, որ մարմնի շարժման արագացումը հետևանք է նրա վրա ազդող ուժի: Ուրեմն՝ կարող ենք ասել, որ ***մարմնի շարժման արագացման պատճառը նրա վրա ազդող ուժն է***:

Մի ուժ մարմնին կարող է հաղորդել մեծ արագացմամբ շարժում, մի այլ ուժ՝ փոքր: Մի ուժ կարող է մարմնին արագացում հաղորդել մի ուղղությամբ, մի այլ ուժ՝ այլ ուղղությամբ: Հետևաբար՝ ուժը վեկտորական ֆիզիկական մեծություն է, որը բնութագրվում է մոդուլով և ուղղությամբ:

Բայց ի՞նչ մեծություն է դա: Ինչի՞ է այն հավասար: Իսկ որ ամենակարևորն է, ինչպե՞ս է այն կապված արագացման հետ: Այս հարցերին պատասխանելու համար կրկին դիմենք նախորդ պարագրաֆում դիտարկված փորձերի օգնությանը: Այդ փորձերի արդյունքում մենք ստացանք, որ միևնույն ազդեցության դեպքում, այսինքն՝ նույն ուժի ազդեցությամբ երկու մարմինների ձեռք բերած արագացումների մոդուլները հակադարձ համեմատական են նրանց զանգվածներին՝

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}: \qquad (5.2)$$

Հաշվի առնելով, որ արագացումը վեկտորական մեծություն է, (5.2) հավասարումը կարող ենք գրել հետևյալ տեսքով՝

$$m_1\vec{a}_1 = m_2\vec{a}_2 : \quad (5.3)$$

Սա նշանակում է, որ նույն ուժի ազդեցությամբ մարմինների ձեռք բերած արագացումների և նրանց զանգվածների արտադրյալները իրար հավասար են:

Այսպիսով, եթե տարբեր մարմինների վրա ազդում է նույն ուժը, ապա մարմնի զանգվածի և արագացման արտադրյալին հավասար ֆիզիկական մեծությունը նույնն է այդ բոլոր մարմինների համար: Դա Ի.Նյուտոնին թույլ տվեց պնդել, որ ***մարմնի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժը հավասար է մարմնի զանգվածի և այդ ուժի հաղորդած արագացման արտադրյալին***.

$$\boxed{\vec{F} = m\vec{a}} : \quad (5.4)$$

(5.4) բանաձևից կարելի է ստանալ արտահայտություն $\vec{a}$ արագացման համար՝

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}} , \quad (5.5)$$

(5.5) բանաձևը դինամիկայի երկրորդ օրենքի՝ ***Նյուտոնի երկրորդ օրենքի*** մաթեմատիկական արտահայտությունն է, որը կարելի է ձևակերպել այսպես. ***ուժի ազդեցությամբ մարմնի ձեռք բերած արագացումը ուղիղ համեմատական է այդ ուժին և հակադարձ համեմատական՝ մարմնի զանգվածին:*** Իներցիայի օրենքի նման՝ Նյուտոնի երկրորդ օրենքը նույնպես ճիշտ է հաշվարկման իներցիալ համակարգերում:

Նյուտոնի երկրորդ օրենքի համաձայն՝ մարմնի վրա կիրառված ուժը որոշում է մարմնի շարժման արագացումը, այսինքն՝ արագության փոփոխությունը և ոչ թե՝ արագությունը: Իսկ դա նշանակում է, որ ***ուժը ոչ թե շարժման, այլ շարժման (արագության) փոփոխության պատճառ է***: Արագացման ուղղությունը միշտ համընկնում է ուժի ուղղության հետ: Իսկ արագության և տեղափոխության ուղղությունները կարող են և չհամընկնել ուժի ուղղության հետ:

Ինչպես գիտենք, մարմինը շարժվում է ուղղագիծ, եթե նրա շարժման սկզբնական արագության և արագացման վեկտորներն ուղղված են նույն ուղղով: Ուրեմն, եթե մարմնի վրա ազդող ուժն ուղղված է նույն ուղղով, ինչ սկզբնական արագությունը, ապա մարմինը կատարում է ուղղագիծ շարժում, հակառակ դեպքում՝ կորագիծ: Եթե ուժը միշտ ուղղված լինի արագությանն ուղղահայաց, ապա մարմինը կկատարի կորագիծ հավասարաչափ շարժում:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ եթե մարմնի (նյութական կետի) վրա միաժամանակ ազդում են մի քանի ուժեր՝ $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots \vec{F}_n$, ապա մարմինը ստանում է այնպիսի արագացում, որը նրան կհաղորդեր այդ ուժերի երկրաչափական (վեկտորական) գումարին հավասար մի ուժ: Այդ ուժը նշանակենք $\vec{F}$-ով: $\vec{F}$-ը կոչվում է $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots, \vec{F}_n$ ուժերի ***համազոր***: Նյուտոնի երկրորդ օրենքը մի քանի ուժերի ազդեցությամբ շարժվող մարմնի համար կգրվի հետևյալ տեսքով՝

$$\boxed{\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = m\vec{a}} : \quad (5.6)$$

Մարմնի շարժման նկարագրության կոորդինատային եղանակի դեպքում Նյուտոնի երկրորդ օրենքը ներկայացվում է (5.6) վեկտորական հավասարմանը համարժեք երեք սկալյար հավասարումների համակարգի միջոցով՝



Նյուտոն Իսահակ (1643-1727)

Անգլիացի մեծագույն ֆիզիկոս և մաթեմատիկոս: Ձևակերպել է մեխանիկական շարժման ընդհանուր օրենքները, հայտնագործել տիեզերական ձգողության օրենքը, ստեղծել դիֆերենցիալ և ինտեգրալ հաշվի հիմունքները: Նա նշանակալի հետազոտություններ է կատարել օպտիկայի բնագավառում: Նրա հետազոտությունները հրապարակվել են «Բնափիլիսոփայության մաթեմատիկական հիմունքները» (1687) վիթխարի աշխատությունում և «Օպտիկա» (1704) գրքում:

$$F_{1x} + F_{2x} + ... + F_{nx} = ma_x ,$$
$$F_{1y} + F_{2y} + ... + F_{ny} = ma_y , \quad (5.7)$$
$$F_{1z} + F_{2z} + ... + F_{nz} = ma_z :$$

(5.7) հավասարումների համակարգի յուրաքանչյուր հավասարում պետք է հասկանալ այսպես. ***ցանկացած ուղղության վրա արագացման պրոյեկցիայի և զանգվածի արտադրյալը հավասար է մարմնի վրա ազդող ուժերի՝ այդ ուղղության վրա պրոյեկցիաների գումարին***:

Շրջանագծային շարժման դեպքում նյութական կետի դիրքով անցնող շառավղի վրա արագացման պրոյեկցիան, ինչպես հայտնի է, հավասար է v^2/R-ի: Ուրեմն, եթե նյութական կետի վրա ազդող բոլոր ուժերի պրոյեկցիաների գումարը շառավղի վրա նշանակենք F_R-ով, ապա Նյուտոնի երկրորդ օրենքից՝

$$F_R = \frac{mv^2}{R} : \quad (5.8)$$

(5.8) հավասարման մեջ ուժերի պրոյեկցիաների նշանները որոշելիս պետք է հաշվի առնել, որ որպես դրական ուղղություն ընտրված է մարմնի դիրքից դեպի շրջանագծի կենտրոն ուղղությունը:

Նյուտոնի երկրորդ օրենքից հետևում է, որ եթե մարմնի վրա ազդող ուժերի վեկտորական գումարը հավասար է զրոյի, ապա մարմնի շարժման արագացումը նույնպես հավասար է զրոյի, և մարմինն իրեն պահում է այնպես, ասես նրա վրա ընդհանրապես ոչ մի ուժ չի ազդում: Մենք նկատի ունեինք հենց այդ դեպքը, երբ Նյուտոնի առաջին օրենքի ձևակերպման մեջ խոսում էինք այլ մարմինների ազդեցությունների համակշռման մասին: Օգտվելով ուժի հասկացությունից՝ այժմ կարող ենք այլ կերպ ձևակերպել Նյուտոնի առաջին օրենքը. ***գոյություն ունեն այնպիսի հաշվարկման համակարգեր, որոնց նկատմամբ մարմնի (նյութական կետի) արագությունը մնում է հաստատուն, եթե նրա վրա կիրառված ուժերի համազորը հավասար է զրոյի***:

Նյուտոնի երկրորդ օրենքը սկզբունքորեն թույլ է տալիս լուծել մեխանիկայի ցանկացած խնդիր: Եթե հայտնի են մարմնի վրա ազդող ուժերը, ապա կարելի է գտնել մարմնի շարժման արագացումը հետագծի ցանկացած կետում, ժամանակի ցանկացած պահին: Այսպիսով՝ հայտնի ուժերով և մարմնի զանգվածով գտնում են այդ մարմնի շարժման արագացումը, հետո հաշվում արագությունը՝ ժամանակի ցանկացած պահին, և տեղափոխությունը՝ ցանկացած ժամանակամիջոցում և, վերջապես, որոշում են մարմնի կոորդինատները ժամանակի ցանկացած պահին: Դրա համար պետք է հայտնի լինեն ***սկզբնական պայմանները***՝ մարմնի սկզբնական դիրքը և սկզբնական արագությունը:

Ուժի միավորը: Նյուտոնի երկրորդ օրենքն արտահայտող $\vec{F} = m\vec{a}$ բանաձևից կարելի է արտածել ուժի միավորը: ***Ուժը հավասար է միավորի, եթե այն 1կգ զանգվածով մարմնին հաղորդում է 1մ/վ² արագացում:*** Այդ միավորը կոչվում է նյուտոն (1Ն).

$$1\,Ն = 1\,\frac{կգ \cdot մ}{վ^2}:$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում ուժ: Այն սկալյա՞ր, թե՞ վեկտորական մեծություն է:*
2. *Ձևակերպե՛ք Նյուտոնի երկրորդ օրենքը:*
3. *Ի՞նչ ուղղություն ունի մարմնի շարժման արագացումը մարմնի վրա որոշակի ուժի կիրառման հետևանքով:*
4. *Ի՞նչ կարելի է ասել մարմնի շարժման արագության ուղղության մասին, եթե մարմինը շարժվում է որոշակի ուժի ազդեցությամբ:*
5. *Ի՞նչ տեսք ունի Նյուտոնի երկրորդ օրենքը շրջանագծային շարժման դեպքում:*
6. *Ո՞ր դեպքում է մարմինը շարժվում նրա վրա ազդող ուժի ուղղությամբ:*

§ 24. Նյուտոնի երրորդ օրենքը

Ինչպես գիտենք, առանձնացված մարմինը շարժվում է առանց արագացման: Եթե տվյալ մարմինը շարժվում է արագացմամբ, ապա անպայմանորեն կարելի է նշել գոնե մեկ այլ մարմին, որն ազդում է տվյալ մարմնի վրա, այսինքն՝ կա երկու մարմին՝ այն, որն ազդում է, և այն, որը ենթարկվում է այդ ազդեցությանը: Բայց իրականում երկու մարմինները ***փոխազդում են***, այն է՝ նրանցից յուրաքանչյուրը, ազդելով մյուս մարմնի վրա, ինքն էլ է ենթարկվում նրա ազդեցությանը: Երբ, օրինակ, աշակերտը սրընթաց վազքի ժամանակ բախվում է մի այլ աշակերտի, երկուսն էլ փոխում են իրենց արագությունները, այսինքն՝ ձեռք են բերում արագացում:

Պարզել, թե ինչ ուժերով են ազդում իրար վրա մարմինները, կարելի է միայն փորձերի օգնությամբ: Զանազան մարմինների հետ կատարված բազմաթիվ փորձեր ցույց են տվել, որ երկու մարմինների փոխազդեցության ժամանակ նրանց արագացումներն ուղղված են մեկը մյուսին հակադիր: Բացի այդ, երկու փոխազդող մարմինների արագացումների մոդուլների հարաբերությունը միշտ միևնույնն է: Այդ հարաբերությունը բոլորովին կախում չունի այն բանից, թե ինչպես են մարմինները փոխազդում: Դա կարող է լինել երկու մարմինների բախում կամ նույն մարմինների փոխազդեցությունն այն դեպքում, երբ դրանք կապված են զսպանակով, թելով, մետաղալարով և այլն: Մարմինները, վերջապես, կարող են փոխազդել առանց հպվելու, ինչպես փոխազդում են, օրինակ, մոլորակները և Արեգակը, Լուսինը և Երկիրը կամ մագնիսը և երկաթի կտորը: Ընդ որում, մարմիններից յուրաքանչյուրի շարժման արագացման մոդուլը տարբեր փոխազդեցությունների ժամանակ կարող է տարբեր լինել: Նույնն է միայն արագացումների հարաբերությունը, որը հավասար է մարմինների զանգվածների հակադարձ հարաբերությանը՝

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}: \qquad (5.9)$$

Այստեղից՝ $m_1a_1 = m_2a_2$: Հաշվի առնելով, որ արագացումներն ուղղված են հակառակ կողմեր, կարելի է գրել՝

$$m_1\vec{a}_1 = -m_2\vec{a}_2 \quad : \qquad (5.10)$$

Բայց $m_1\vec{a}_1 = \vec{F}_{21}$, իսկ $m_2\vec{a}_2 = \vec{F}_{12}$, որտեղ $\vec{F}_{21}$-ը երկրորդ մարմնի կողմից առաջինի վրա ազդող ուժն է, իսկ $\vec{F}_{12}$-ը՝ առաջին մարմնի կողմից երկրորդի վրա ազդող ուժը: Հետևաբար՝

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad : \qquad (5.11)$$

Այս հավասարությունն արտահայտում է Նյուտոնի երրորդ օրենքը: ***Մարմինները փոխազդում են մոդուլով հավասար, ուղղությամբ հակադիր ուժերով, որոնք նույն բնույթի են:***

Նյուտոնի այս օրենքը ցույց է տալիս, որ մարմինների փոխազդեցության հետևանքով ուժերը միշտ հանդես են գալիս զույգերով: Եթե որևէ մարմնի վրա ուժ է ազդում, ապա անպայմանորեն գոյություն ունի մեկ այլ մարմին, որի վրա առաջինն ազդում է նույնպիսի, բայց դեպի հակառակ կողմ ուղղված ուժով:

Նյուտոնի երրորդ օրենքը ճիշտ է հաշվարկման իներցիալ համակարգերում:

Միշտ պետք է հիշել, որ մարմինների փոխազդեցության ժամանակ երևան եկող ուժերը կիրառված են տարբեր մարմինների նկատմամբ, ուստի չեն կարող հավասարակշռել միմյանց:

Նյուտոնի երրորդ օրենքը քննարկելիս հաճախ այսպիսի հարց է ծագում: Ինչ ուժով մարդը քաշում է սահնակը, նույն ուժով սահնակը նրան ետ է քաշում: Բայց սահնակն առաջ է շարժվում, իսկ մարդը ետ չի շարժվում: Ինչու՞:

Եթե մարդը քաշում է սահնակը, ապա դա չի նշանակում, որ մարդու կողմից սահնակի վրա ազդող ուժն ավելի մեծ է, քան այն ուժը, որով սահնակը մարդուն ետ է քաշում: Այդ ուժերը մոդուլով հավասար են: Պարզապես մարդը Երկիրը «հրում» է մի ուղղությամբ, իսկ Երկիրը նրան «հրում» է հակառակ ուղղությամբ: Եթե այդ ուժը մոդուլով մեծ է սահնակի կողմից ազդող ուժի մոդուլից, ապա մարդը կարող է առաջ շարժվել:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք Նյուտոնի երրորդ օրենքը:*
2. *Համակշռվու՞մ են արդյոք երկու մարմինների փոխազդեցության ժամանակ առաջացած ուժերը:*
3. *Ինչպե՞ս կշարժվեն սահնակը և մարդը, եթե վերջինս սահնակը քաշի իդեալական հարթ սառցադաշտի վրայով:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Մի մարմնի զանգվածը $\Delta m = 2$ կգ-ով մեծ է մյուսի զանգվածից: Որոշել մարմինների զանգվածները, եթե միևնույն ուժի ազդեցությամբ փոքր զանգվածով մարմինը ստանում է $a_1 = 0,4$ մ/վ² արագացում, իսկ մեծ զանգվածով մարմինը՝ $a_2 = 0,2$ մ/վ² արագացում:***

Լուծում: Առաջին մարմնի զանգվածը նշանակենք m-ով, երկրորդինը կլինի $m + \Delta m$: Ինչպես հայտնի է, միևնույն ուժի ազդեցությամբ մարմինների ձեռք բերած արագա-

ցումների մոդուլները հակադարձ համեմատական են նրանց զանգվածներին, ուստի $a_1/a_2 = (m+\Delta m)/m$, որտեղից՝ $m = a_2\Delta m/(a_1 - a_2) = 2$ կգ, $m + \Delta m = 4$ կգ:

2. Մարմնի ուղղագիծ շարժման արագությունը ժամանակից կախված փոփոխվում է $v = 10 + 5t$ օրենքով: Որքա՞ն է մարմնի m զանգվածը, եթե նրա վրա ազդող ուժերի գումարը՝ $F = 50$ Ն:

Լուծում: Քանի որ մարմնի արագությունը ժամանակից կախված փոփոխվում է գծային օրենքով, ապա նրա շարժումն ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող է: Համեմատելով արագության փոփոխման տրված օրենքն ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման $v = v_0 + at$ հավասարման հետ՝ կստանանք՝ $a = 5$ մ/վ²: Նյուտոնի երկրորդ օրենքից՝ $m = F/a = 10$ կգ:

3. 2 կգ զանգվածով մարմնի վրա ազդում են 10 Ն մոդուլով երկու ուժեր: Ինչի՞ է հավասար այդ ուժերի կազմած անկյունը, եթե մարմինը շարժվում է 5 մ/վ² արագացմամբ:

Լուծում: Ըստ Նյուտոնի երկրորդ օրենքի՝ $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m\vec{a}$, որտեղից՝ $|\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = ma$: Մարմնի վրա ազդող ուժերի գումարի մոդուլը կորոշենք՝ օգտվելով կոսինուսների թեորեմից.



$$|\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} = F\sqrt{2(1+\cos\alpha)},$$

ուրեմն՝ $F\sqrt{2(1+\cos\alpha)} = ma$, որտեղից՝

$$\cos\alpha = \frac{m^2a^2}{2F^2} - 1 = -\frac{1}{2},\ \alpha = 120°:$$

Խնդիրներ

1. *24 Ն հաստատուն համազոր ուժի ազդեցությամբ 2,5 կգ զանգվածով մարմնի շարժման արագությունը 4 վ-ի ընթացքում դարձավ 45 մ/վ: Ի՞նչ արագությամբ էր շարժվում մարմինը մինչ ուժ կիրառելը:*
2. *40 և 50 կգ զանգվածներով երկու չմշկորդ կանգնած են սառույցին: Մի չմշկորդը մյուսին հրում է 10 Ն ուժով: Ի՞նչ արագացումներով են սկսում շարժվել չմշկորդները:*
3. *0,5 կգ զանգվածով մարմնի շարժման հավասարումն է՝ $x = 5t + 0{,}8t^2$: Գտե՛ք մարմնի վրա ազդող ուժի պրոյեկցիան շարժման ուղղության վրա:*
4. *Ավտոմեքենան 10^3 Ն ուժի ազդեցությամբ շարժվում է 0,2 մ/վ² արագացմամբ: Ի՞նչ արագացմամբ կշարժվի այն 750 Ն ուժի ազդեցությամբ:*
5. *Դադարի վիճակում 0,2 կգ զանգվածով ազատ մարմնի վրա սկսում է ազդել 0,1 Ն ուժ: Ինչպիսի՞ն կլինի այդ մարմնի շարժման արագությունը 5 վ անց:*
6. *Համեմատե՛ք երկու պողպատե գնդերի բախման ընթացքում շարժման արագացումները, եթե առաջին գնդի շառավիղը 2 անգամ մեծ է երկրորդի շառավղից:*
7. *F_1 ուժը 2 կգ զանգվածին հաղորդում է 2մ/վ² արագացում, իսկ F_2 ուժը 3 կգ զանգվածին՝ 1 մ/վ²: Ի՞նչ արագացում կհաղորդի 4 կգ զանգվածով մարմնին F_1 և F_2 ուժերի գումարը, եթե ուժերի կազմած անկյունը 90° է:*

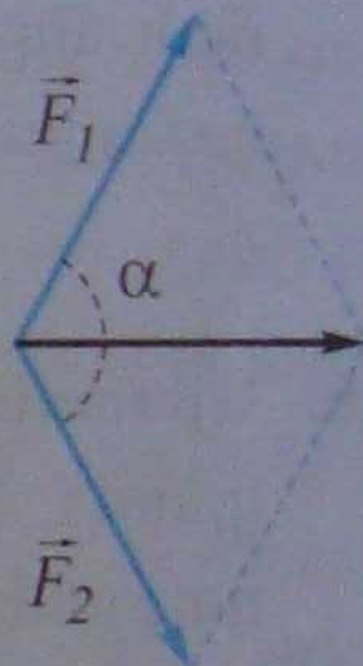
յումների մոդուլները հակադարձ համեմատական են նրանց զանգվածներին, ուրեմն՝ $a_1/a_2=(m+\Delta m)/m$, որտեղից՝ $m=a_2\Delta m/(a_1-a_2)=2$ կգ, $m+\Delta m=4$ կգ:

2. ***Մարմնի ուղղագիծ շարժման արագությունը ժամանակից կախված փոփոխվում է $v=10+5t$ օրենքով: Որքա՞ն է մարմնի m զանգվածը, եթե նրա վրա ազդող ուժերի գումարը՝ F = 50 Ն:***

Լուծում: Քանի որ մարմնի արագությունը ժամանակից կախված փոփոխվում է գծային օրենքով, ապա նրա շարժումն ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող է: Համեմատելով արագության փոփոխման տրված օրենքն ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժման $v=v_0+at$ հավասարման հետ՝ կստանանք՝ $a=5$ մ/վ²: Նյուտոնի երկրորդ օրենքից՝ $m=F/a=10$ կգ:

3. ***2 կգ զանգվածով մարմնի վրա ազդում են 10 Ն մոդուլով երկու ուժեր: Ինչի՞ է հավասար այդ ուժերի կազմած անկյունը, եթե մարմինը շարժվում է 5 մ/վ² արագացմամբ:***

Լուծում: Ըստ Նյուտոնի երկրորդ օրենքի՝ $\vec{F}_1+\vec{F}_2=m\vec{a}$, որտեղից՝ $|\vec{F}_1+\vec{F}_2|=ma$: Մարմնի վրա ազդող ուժերի գումարի մոդուլը կորոշենք՝ օգտվելով կոսինուսների թեորեմից.



$$|\vec{F}_1+\vec{F}_2|=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\alpha}=F\sqrt{2(1+\cos\alpha)},$$

ուրեմն՝ $F\sqrt{2(1+\cos\alpha)}=ma$, որտեղից՝

$$\cos\alpha=\frac{m^2a^2}{2F^2}-1=-\frac{1}{2},\quad \alpha=120°:$$

Խնդիրներ

1. *24 Ն հաստատուն համազոր ուժի ազդեցությամբ 2,5 կգ զանգվածով մարմնի շարժման արագությունը 4 վ-ի ընթացքում դարձավ 45 մ/վ: Ի՞նչ արագությամբ էր շարժվում մարմինը մինչ ուժ կիրառելը:*
2. *40 և 50 կգ զանգվածներով երկու չմշկորդ կանգնած են սառույցին: Մի չմշկորդը մյուսին հրում է 10 Ն ուժով: Ի՞նչ արագացումներով են սկսում շարժվել չմշկորդները:*
3. *0,5 կգ զանգվածով մարմնի շարժման հավասարումն է՝ $x=5t+0{,}8t^2$: Գտե՛ք մարմնի վրա ազդող ուժի պրոյեկցիան շարժման ուղղության վրա:*
4. *Ավտոմեքենան 10^3 Ն ուժի ազդեցությամբ շարժվում է 0,2 մ/վ² արագացմամբ: Ի՞նչ արագացմամբ կշարժվի այն 750 Ն ուժի ազդեցությամբ:*
5. *Դադարի վիճակում 0,2 կգ զանգվածով ազատ մարմնի վրա սկսում է ազդել 0,1 Ն ուժ: Ինչպիսի՞ն կլինի այդ մարմնի շարժման արագությունը 5 վ անց:*
6. *Համեմատե՛ք երկու պողպատե գնդերի բախման ընթացքում շարժման արագացումները, եթե առաջին գնդի շառավիղը 2 անգամ մեծ է երկրորդի շառավղից:*
7. *F_1 ուժը 2 կգ զանգվածին հաղորդում է 2մ/վ² արագացում, իսկ F_2 ուժը 3 կգ զանգվածին՝ 1 մ/վ²: Ի՞նչ արագացում կհաղորդի 4 կգ զանգվածով մարմնին F_1 և F_2 ուժերի գումարը, եթե ուժերի կազմած անկյունը 90° է:*

ԳԼՈՒԽ 5-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

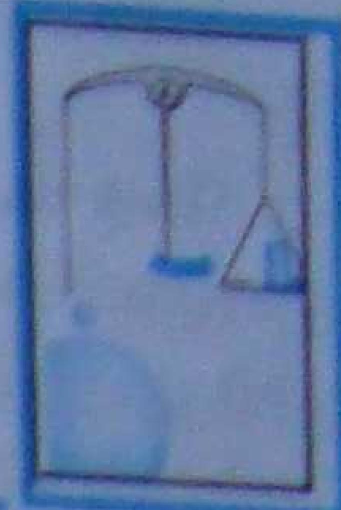
1. Մարմնի արագացման պատճառն այլ մարմինների չհամակշռված ազդեցությունն է նրա վրա:
2. Միևնույն ազդեցության դեպքում տարբեր մարմիններ ձեռք են բերում տարբեր արագացումներ. արագացումը կախված է մարմնի այն առանձնակի հատկությունից, որ կոչվում է իներտություն: Մարմնի իներտության չափը նրա զանգվածն է:
3. Մարմինները փոխազդում են: Մի մարմնի մեխանիկական ազդեցության չափը մյուսի վրա արտահայտվում է ուժ կոչվող մեծությամբ: Շարժման (դինամիկայի) երեք օրենքները ճիշտ են հաշվարկման իներցիալ համակարգերում:
4. Համաձայն Նյուտոնի առաջին օրենքի՝ գոյություն ունեն այնպիսի հաշվարկման համակարգեր, որոնց նկատմամբ մարմնի համընթաց շարժման արագությունը չի փոխվում, եթե նրա վրա ազդող ուժերի համազորը հավասար է զրոյի: Այդպիսի հաշվարկման համակարգերը կոչվում են իներցիալ:
5. Նյուտոնի երկրորդ օրենքը կապ է հաստատում ուժի և նրա առաջացրած արագացման միջև: Մարմնի վրա ազդող ուժը, անկախ իր բնույթից, հավասար է մարմնի զանգվածի և այդ ուժի հաղորդած արագացման արտադրյալին՝

$$\vec{F} = m\vec{a} :$$

6. Նյուտոնի երրորդ օրենքը ցույց է տալիս, որ մի մարմնի ազդեցությունը մյուսի վրա կրում է փոխադարձ բնույթ: Մարմինները փոխազդում են մոդուլով հավասար, ուղղությամբ հակադիր և միևնույն բնույթի ուժերով՝

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} :$$

6 ԲՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒԺԵՐԸ



Ներածություն

Նյուտոնի երկրորդ օրենքը թույլ է տալիս գտնել մարմնի արագացումը՝ անկախ նրա վրա ազդող ուժերի բնույթից: Իսկ ուժերը ծագում են մարմինների փոխազդեցության ժամանակ: Բայց ինչպիսի՞ փոխազդեցություններ կան, և շա՞տ են արդյոք դրանք:

Առաջին հայացքից կարող է թվալ, թե գոյություն ունեն մարմինների փոխազդեցության, հետևաբար, նաև ուժերի՝ միմյանցից տարբեր շատ տեսակներ: Մարմնին արագացում կարելի է հաղորդել՝ այն հրելով կամ քաշելով. արագացմամբ է շարժվում Երկրի վրա ընկնող ամեն մի մարմին. ձգելով և բաց թողնելով աղեղի լարը՝ մենք արագացմամբ շարժում ենք հաղորդում նետին. արագացմամբ շարժում է ստանում մետաղի կտորը, երբ նրան մագնիս ենք մոտեցնում և այլն: Այս բոլոր դեպքերում ինչ-որ ուժեր են գործում, և թվում է, թե նրանք բոլորն էլ միանգամայն տարբեր են: Բայց բնության մեջ հանդիպող փոխազդեցությունների ամբողջ բազմազանությունը հանգում է չորս տիպի փոխազդեցությունների: Դրանք են՝ գրավիտացիոն, էլեկտրամագնիսական, միջուկային (կամ ուժեղ) և, այսպես կոչված, թույլ փոխազդեցությունները: Միջուկային և թույլ փոխազդեցությունները ի հայտ են գալիս շատ փոքր հեռավորությունների վրա, երբ Նյուտոնի մեխանիկայի օրենքները կիրառելի չեն: Այս փոխազդեցությունների գործողության տիրույթը ընդգրկում է ատոմի միջուկի և տարրական մասնիկների հետ կատարվող պրոցեսները: Ի տարբերություն միջուկային և թույլ փոխազդեցությունների՝ էլեկտրամագնիսական և գրավիտացիոն փոխազդեցությունները գործում են նաև մեծ հեռավորությունների վրա, ուստի հենց այդ փոխազդեցություններն են որոշում գրեթե բոլոր երևույթները՝ սկսած ատոմային և մոլեկուլային մակարդակի պրոցեսներից մինչև հեռավոր գալակտիկաներում տեղի ունեցող պրոցեսները: Մեզ շրջապատող մակրոսկոպական աշխարհի բոլոր մեխանիկական երևույթները որոշվում են բացառապես գրավիտացիոն և էլեկտրամագնիսական ուժերով: Գրավիտացիոն ուժերը նկարագրվում են առավել պարզ քանակական օրինաչափություններով, բայց դրանց դրսևորումները կարող են բավականին բարդ և բազմաբնույթ լինել: Մոլորակների և արբանյակների շարժման, հրետանային արկի թռիչքի, հեղուկներում մարմինների լողալու և շատ այլ երևույթներում ի հայտ է գալիս գրավիտացիոն ուժերի ազդեցությունը:

Էլեկտրամագնիսական ուժերի քանակական օրինաչափությունները շատ ավելի բարդ են, իսկ դրանց դրսևորումները՝ ավելի բազմաբնույթ: Անշարժ լիցքերի փոխազդեցությունը, մագնիսական դաշտի ազդեցությունը շարժվող լիցքերի և հոսանքակիր հաղորդիչների վրա, մարմինների դեֆորմացիաների ժամանակ առաջացող առաձգականության ուժերը, հպվող մակերևույթների միջև գործող շփման ուժերը և այլն, էլեկտրամագնիսական բնույթի փոխազդեցության դրսևորումներ են:

§ 25. Առաձգականության ուժ: Հուկի օրենքը

Ուժի ազդեցությամբ արագացում կարող են ձեռք բերել ոչ միայն մարմինն ամբողջությամբ, այլև նրա առանձին մասերը: Դրա հետևանքով փոխվում են մարմնի առանձին մասերի փոխադարձ դասավորությունը և, հետևաբար, մարմնի ձևն ու չափերը: Օրինակ՝ մետաղե քանոնի մեջտեղում բեռ դնենք (նկ. 64): Քանոնի միջին մասն ավելի մեծ արագացմամբ է շարժվում, քան եզրային մասերը, ուստի միջին մասն ավելի շատ է տեղափոխվում: Քանոնը փոխում է իր ձևը:

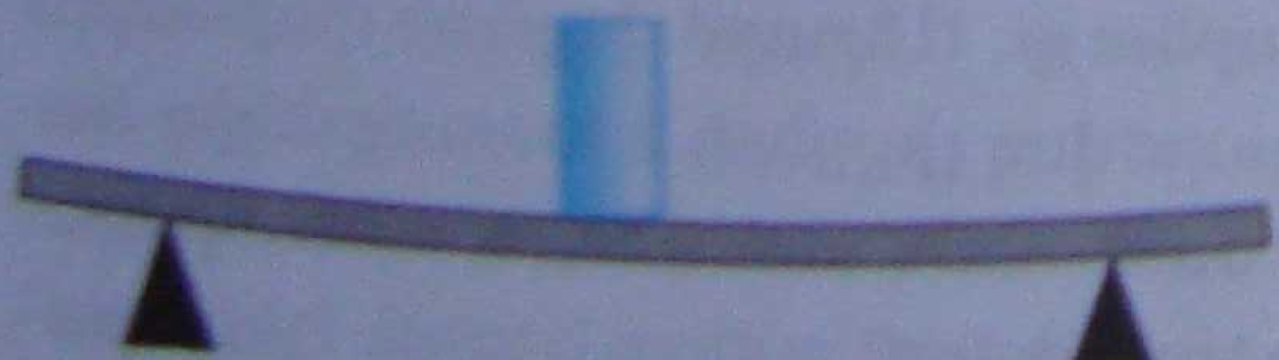
Արտաքին ազդեցության հետևանքով մարմնի ձևի և չափերի փոփոխությունը կոչվում է ***դեֆորմացիա***: Դեֆորմացիան կարող է մարմնի ջերմային ընդարձակման, մագնիսական կամ էլեկտրական դաշտի ազդեցության, ինչպես նաև արտաքին մեխանիկական ուժի հետևանք լինել: Դեֆորմացիան կոչվում է ***առաձգական***, եթե արտաքին ազդեցությունը վերացնելուց հետո այն անհետանում է, այսինքն՝ մարմնի սկզբնական ձևն ու չափերը վերականգնվում են: Եթե արտաքին ազդեցությունը վերացնելուց հետո մարմնի դեֆորմացիան չի անհետանում, ապա դեֆորմացիան կոչվում է ***ոչ առաձգական*** կամ ***պլաստիկ***: Քանի որ առաձգական դեֆորմացիայի դեպքում արտաքին ազդեցությունը վերացնելուց հետո մարմինը վերականգնում է իր ձևը, ապա ակնհայտ է, որ դեֆորմացիայի հետևանքով մարմնում առաջանում են ուժեր, որոնք էլ մարմնի մասնիկներին վերադարձնում են իրենց սկզբնական դիրքերը:

Այն ուժը, որն առաջանում է մարմնի դեֆորմացիայի հետևանքով և ուղղված է դեֆորմացիայի ժամանակ մարմնի մասնիկների տեղափոխմանը հակառակ ուղղությամբ, կոչվում է առաձգականության ուժ:

Առաձգականության ուժը ծագում է հետևյալ կերպ: Մոլեկուլների (ատոմների) միջև գործում են փոխազդեցության ուժեր, որոնց բնույթը (ձգողության կամ վանողության) կախված է մասնիկների հեռավորությունից: Պինդ մարմնում մոլեկուլներն արտաքին ուժերի բացակայության դեպքում գտնվում են որոշակի (հավասարակշռական) հեռավորությունների վրա, և նրանց ձգողության և վանողության ուժերն իրար համակշռում են: Մարմնի դեֆորմացիայի հետևանքով մասնիկների հեռավորության փոփոխման պատճառով ձգողության և վանողության ուժերի հավասարակշռությունը խախտվում է: Հեռավորությունը փոքրանալիս վանողության ուժերն ավելի արագ են աճում, քան ձգողության ուժերը, և մասնիկները սկսում են վանել միմյանց: Երբ մասնիկների հեռավորությունը մեծանում է, նրանց միջև գերակշռում են ձգողության ուժերը:

Քանի որ առաձգականության ուժերի առաջացումը պայմանավորված է մոլեկուլների (ատոմների) կազմության մեջ մտնող էլեկտրական լիցքերի փոխազդեցությամբ, ապա առաձգականության ուժերն ունեն ***էլեկտրամագնիսական բնույթ***:

Առաձգականության ուժերը ծագում են պինդ մարմնի դեֆորմացման հետևանքով: Ուսումնասիրենք այն առաձգականության ուժերը, որոնք ծագում են ձգման և սեղմման դեֆորմացիաների դեպքում:



Նկ. 64

Դիցուք՝ զսպանակի մի ծայրն ամրացված է, իսկ մյուս ծայրին ազդում է զսպանակի հորիզոնական առանցքով ուղղված և այն ձգող $\vec{F}$ ուժը (նկ. 65,ա): Այդ ուժի ազդեցությամբ զսպանակի ծայրը շարժվում է արագացմամբ, տեղա-

փոխվելով դեպի աջ՝ զսպանակը ձգվում է: Դրա ձգվելը դադարում է, երբ ձգման դեֆորմացիայի հետևանքով զսպանակում առաջացած $\vec{F}_{առ}$ առաձգականության ուժը համակշռում է $\vec{F}$ արտաքին ձգող ուժը, այսինքն՝ այն ուղղված է դեֆորմացիա առաջացնող ուժին հակառակ (նկ. 65,բ): Երբ արտաքին $\vec{F}$ ուժը սեղմում է զսպանակը, ապա դեֆորմացիայի հետևանքով առաջացած $\vec{F}_{առ}$ ուժը, երբ զսպանակի ծայրը գտնվում է հավասարակշռության վիճակում, մոդուլով հավասար է $|\vec{F}|$-ին և ուղղված է նրան հակառակ ուղղությամբ՝ զսպանակի առանցքով դեպի աջ (նկ. 65,գ):

Նկ. 65

Դեֆորմացիան կոչվում է ***փոքր***, եթե դեֆորմացիայի հետևանքով զսպանակի երկարացումը, այսինքն՝ նրա երկարության $x = l - l_0$ փոփոխությունը, որտեղ l-ը և l_0-ն համապատասխանաբար դեֆորմացված և չդեֆորմացված զսպանակի երկարություններն են, շատ փոքր է զսպանակի l_0 սկզբնական երկարությունից՝

$$|x| = |l - l_0| << l_0 \quad \text{կամ} \quad \frac{|x|}{l_0} << 1:$$

Փորձերը ցույց են տալիս, որ փոքր դեֆորմացիաների դեպքում առաձգականության ուժի մոդուլը՝ $F_{առ}$-ը, ուղիղ համեմատական է զսպանակի երկարացման $|x|$ մոդուլին՝

$$F_{առ} = k\,|x|\,, \qquad (6.1)$$

Քանի որ զսպանակի x երկարացումը և $\vec{F}_{առ}$ առաձգականության ուժի վեկտորի պրոյեկցիան X առանցքի վրա հակառակ նշաններ ունեն, ապա նրանց կապը կարելի է ներկայացնել հետևյալ առնչությամբ՝

$$\boxed{F_{առ.x} = -kx}\,, \qquad (6.2)$$

որտեղ k համեմատականության գործակիցը կոչվում է զսպանակի ***կոշտություն***: k գործակցի արժեքը կախված է զսպանակի չափերից և այն նյութի տեսակից, որից պատրաստված է զսպանակը (տե՛ս գլ.18): (6.2) բանաձևից հետևող

$$k = \frac{|F_{առ.x}|}{|x|}$$

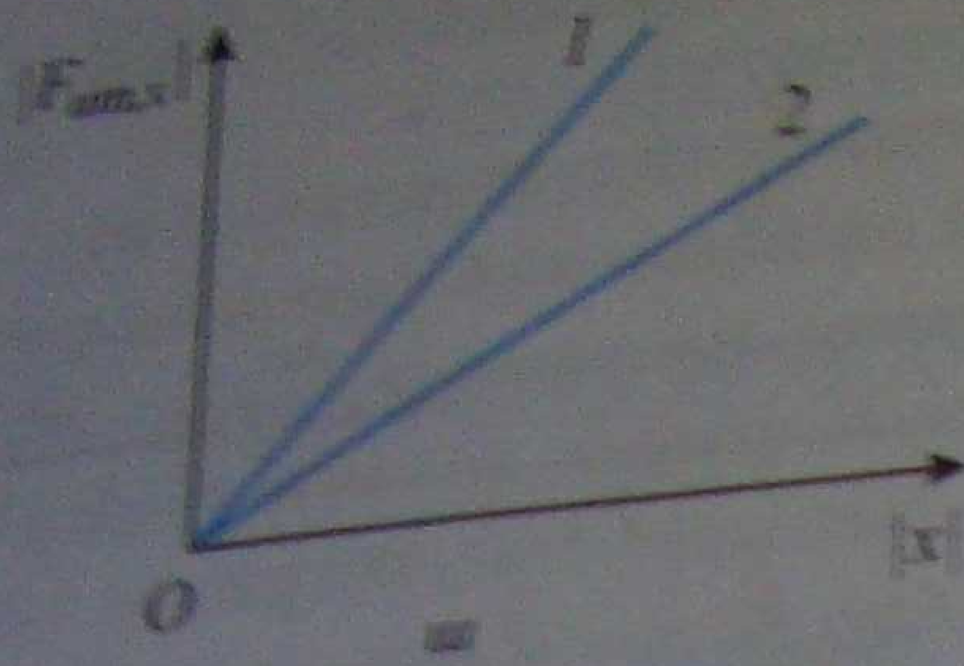
հավասարության համաձայն՝ կոշտությունը թվապես հավասար է 1 մ-ով դեֆորմացված զսպանակում առաջացած առաձգականության ուժի մոդուլին: Միավորների ՄՀ-ում կոշտությունն արտահայտվում է նյուտոն-մետր (Ն/մ) միավորով: (6.2) բանաձևը Ռ.Հուկի օրենքի (1660 թ.) մաթեմատիկական ձևակերպումն է: Համաձայն այդ օրենքի՝ ***փոքր դեֆորմացիաների դեպքում մարմնում (զսպանակում, ձողում) առաջացած առաձգականության ուժը համեմատական է մարմնի երկարացմանը և ուղղված է***

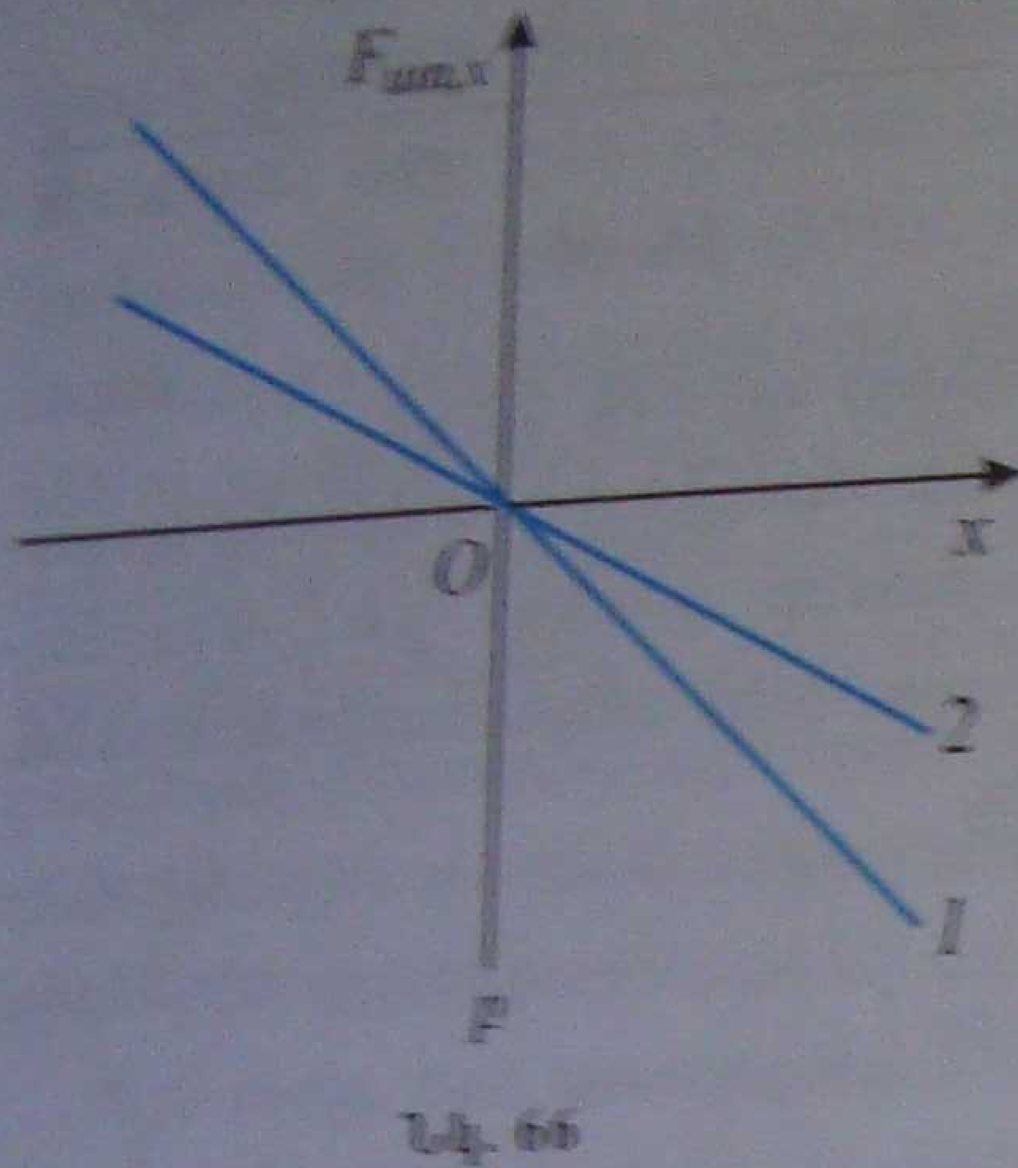
հավասարակշռության դիրքից մասնիկների շեղման ուղղությանը հակառակ:

Առաձգականության ուժի և երկարացման մոդուլների միջև (6.1) կախման գրաֆիկը տրված է նկ. 66.ա-ում: 1 և 2 ուղիղները նկարագրում են տարբեր կոշտություններով զսպանակներում ծագած առաձգականության ուժերի կախումը երկարացումից ($k_1 > k_2$):

(6.2) բանաձևի համաձայն՝ առաձգականության ուժը կախված է կոորդինատից: Նկ. 65-ից ակնհայտ է, որ x երկարացումը միաժամանակ նաև զսպանակի ծայրի կոորդինատն է, որի $x = 0$ արժեքը համապատասխանում է դեֆորմացիայի բացակայությանը:

Նկ.66.բ-ում պատկերված է $\vec{F}_{առ}$ առաձգականության ուժի վեկտորի $F_{առ.x}$ պրոյեկցիայի՝ զսպանակի ծայրի x կոորդինատից կախման գրաֆիկը երկու տարբեր կոշտությամբ զսպանակների համար:





Նկ. 66

Մեր կողմից քննարկված փորձերում զսպանակում ծագած առաձգականության ուժն ուղղված է զսպանակի առանցքով: Դեֆորմացված ձողերի, թելերի, քուղերի դեպքում ևս առաձգականության ուժերն ուղղված են դրանց առանցքներով: Ընդհանրապես, առաձգականության ուժը միշտ ուղղված է մարմինների հպման մակերևույթներին ուղղահայաց:

Հարցեր և առաջադրանքներ

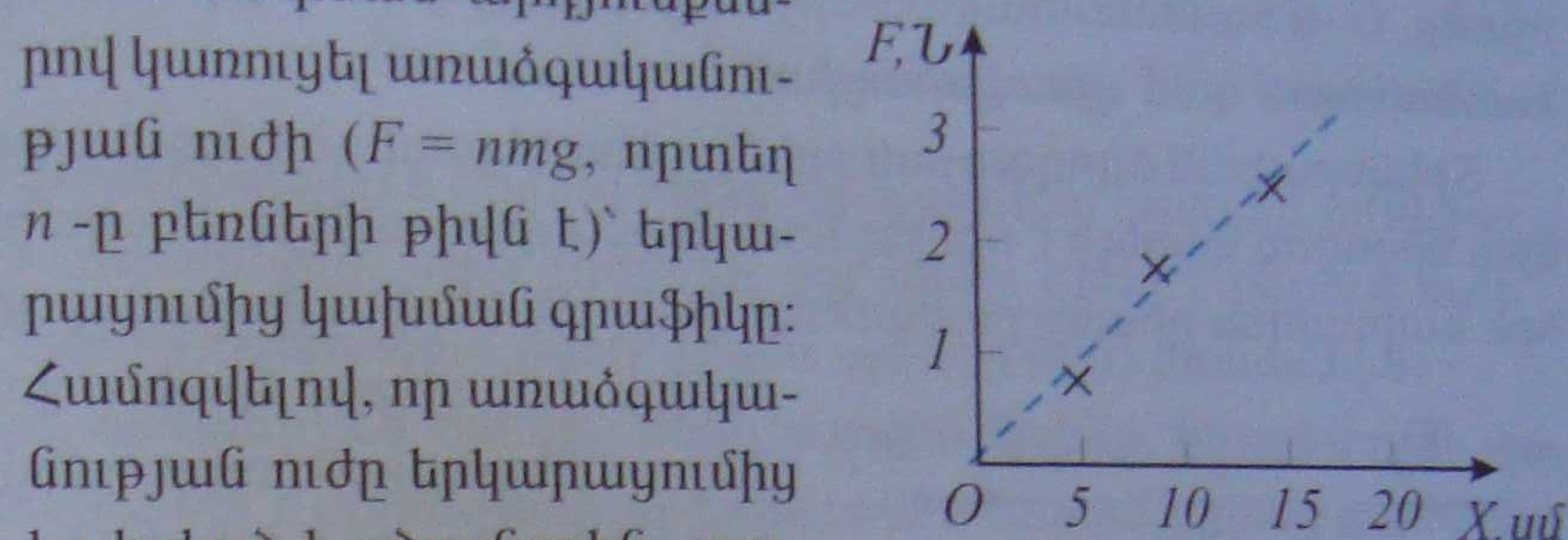
1. *Թվարկե՛ք բնության մեջ գոյություն ունեցող փոխազդեցությունների տեսակները:*
2. *Ի՞նչն են անվանում դեֆորմացիա:*
3. *Ինչո՞վ է պայմանավորված դեֆորմացիայի ժամանակ առաձգականության ուժերի առաջացումը:*
4. *Ձևակերպե՛ք Հուկի օրենքը:*
5. *Օգտվելով Հուկի օրենքից՝ կոշտության միավորն արտահայտե՛ք ՄՀ-ի հիմնական միավորներով:*
6. *Մարմնի ո՞ր հատկություններից է կախված նրա կոշտությունը:*

§ 26. Լաբորատոր աշխատանք N3. Զսպանակի կոշտության որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. Հուկի օրենքի հիման վրա որոշել զսպանակի կոշտության արժեքը:

Չափամիջոցներ. 1. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. տարբեր կոշտություն ունեցող պարուրաձև զսպանակների հավաքածու, 2. 100 կամ 50 գրամանոց բեռների հավաքածու, 3. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով:



Փորձի կատարման ընթացքը.

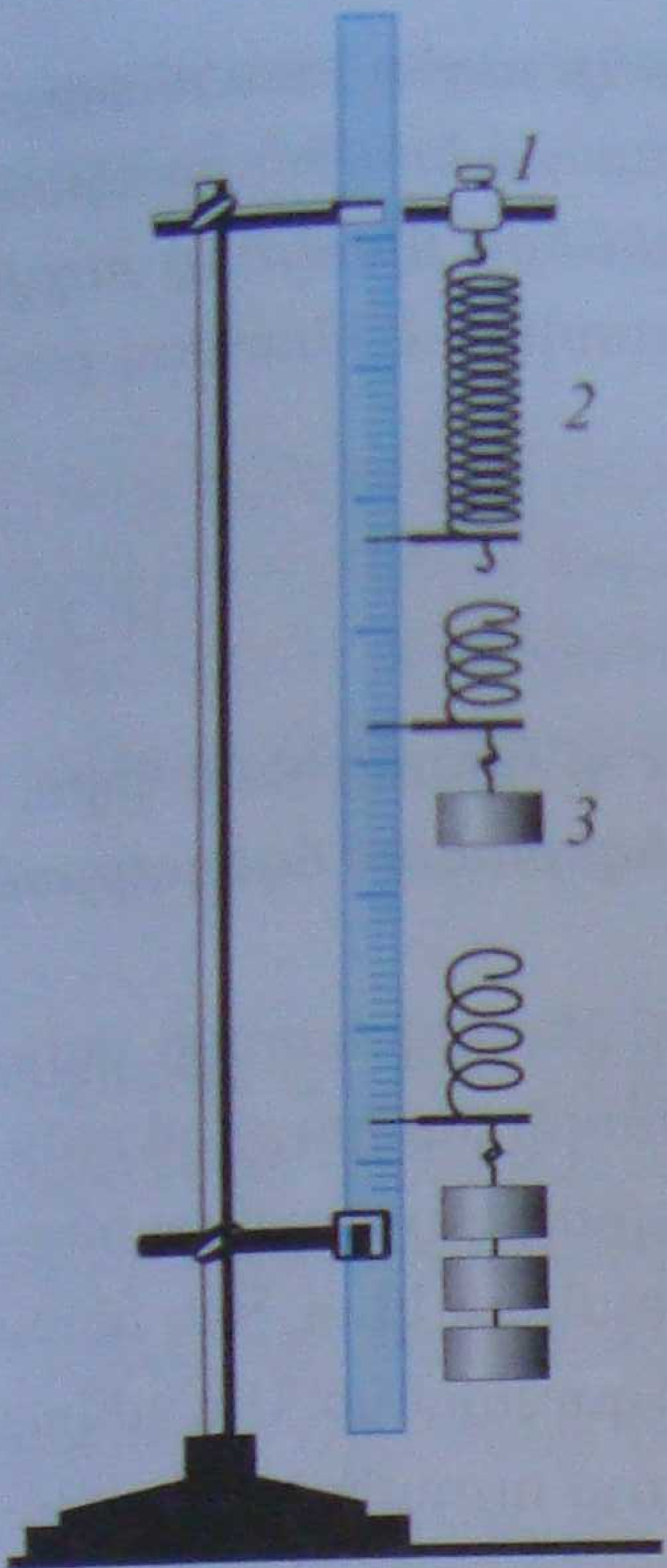
1. Պարուրաձև զսպանակի ծայրն ամրացնել ամրակալանին:

2. Զսպանակի երկայնքով, նրան զուգահեռ տեղադրել միլիմետրական բաժանումներ ունեցող քանոնը:

3. Զսպանակի մյուս ծայրից կախել հայտնի m զանգվածով բեռ և չափել դրա առաջացրած երկարացումը (x):

4. Առաջին բեռին ավելացնել երկրորդը, այնուհետև՝ երրորդը՝ ամեն անգամ գրանցելով երկարացումը:

5. Չափման արդյունքներով կառուցել առաձգականության ուժի ($F = nmg$, որտեղ n-ը բեռների թիվն է)՝ երկարացումից կախման գրաֆիկը: Համոզվելով, որ առաձգականության ուժը երկարացումից կախված է գծայնորեն, տանելով կետերը միացնող ուղիղը՝ գտնել նրա և OX առանցքի կազմած անկյան տանգենսը: Զսպանակի $k = F/|x|$ կոշտությունը կլինի թվապես հավասար այդ անկյան տանգենսին՝ արտահայտված Ն/մ միավորով:



§ 27. Տիեզերական ձգողության օրենքը: Գրավիտացիոն հաստատուն

Ազատ անկում կատարող մարմինն ունի ուղղաձիգ դեպի ներքև ուղղված արագացում, ուստի, ըստ Նյուտոնի երկրորդ օրենքի, այդ մարմնի վրա ազդում է նույն ուղղությամբ, այսինքն՝ դեպի Երկրի կենտրոն ուղղված մի ուժ: Երկիրը դեպի իրեն է ձգում մարմինները: Նյուտոնը ենթադրեց, որ տարբեր մարմիններ ձգելու հատկությունը բնորոշ է ոչ միայն Երկրին, այլև Տիեզերքում գտնվող բոլոր մարմիններին: Այս ենթադրությունը հիմնավորելու համար Նյուտոնն օգտվեց դեռևս XVI դարում Յ.Կեպլերի կողմից հայտնաբերված օրենքներից, որոնք նկարագրում են Արեգակնային համակարգի մոլորակների շարժումները և ստացվել էին երկարատև դիտումների արդյունքների ընդհանրացման հիման վրա:

Մոլորակները պտտվում են Արեգակի շուրջը՝ շարժվելով կոր հետագծերով, այսինքն՝ արագացմամբ: Նրանց արագացող շարժում հաղորդում է Արեգակի ձգողության ուժը: Արեգակը և մոլորակները, ինչպես նաև բնության ցանկացած մարմիններ, փոխադարձաբար ձգում են իրար: Մարմինների այդ փոխադարձ ձգողությունն անվանում են ***տիեզերական ձգողություն***, մարմինների փոխադարձ ձգողության ուժը՝ տիեզերական ձգողության (գրավիտացիոն) ուժ, իսկ մարմինների փոխազդեցությունը՝ ***գրավիտացիոն փոխազդեցություն***:

Գրավիտացիոն փոխազդեցությունը նկարագրվում է Ի.Նյուտոնի կողմից հայտնաբերված տիեզերական ձգողության օրենքով: Համաձայն այդ օրենքի՝ ***երկու մարմիններ***

(նյութական կետեր) միմյանց ձգում են այնպիսի ուժերով, որոնք ուղիղ համեմատական են այդ մարմինների զանգվածների արտադրյալին, հակադարձ համեմատական՝ նրանց հեռավորության քառակուսուն և ուղղված են մարմինները միացնող ուղղի երկայնքով: Այդ ուժերից յուրաքանչյուրի F մոդուլն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (6.3)$$

որտեղ m_1-ը և m_2-ը փոխազդող մարմինների զանգվածներն են, r-ը՝ նրանց հեռավորությունը, G-ն համեմատականության գործակից է և կոչվում է ***տիեզերական ձգողության հաստատուն*** կամ ***գրավիտացիոն հաստատուն***:

Տիեզերական ձգողության օրենքը ձևակերպված է նյութական կետերի համար, բայց նրա միջոցով կարելի է որոշել նաև վերջավոր չափերով մարմինների ձգողության ուժը, եթե նախապես դրանք բաժանենք փոքր մասերի այնպես, որ յուրաքանչյուր մաս հնարավոր լինի դիտել որպես նյութական կետ, իսկ հետո փոխազդեցության բոլոր ուժերը գումարենք: Սա դժվար մաթեմատիկական խնդիր է, բայց այդպիսի հաշվումներով կարելի է ապացուցել, որ (6.3) բանաձևը կիրառելի է նաև համասեռ գնդի և նյութական կետի, ինչպես նաև համասեռ գնդերի և գնդոլորտների համար, որոնց կենտրոնների հեռավորությունը r է (նկ. 67):

Նկ. 67

Փոխազդող մարմինների վրա կիրառված գրավիտացիոն ուժերը մոդուլով իրար հավասար են, ուղղությամբ՝ հակադիր: Այդ ուժերն ուղղված են նյութական կետերը (գնդերի կենտրոնները) միացնող ուղղի երկայնքով, մի մարմնից դեպի մյուսը: Այդպիսի ուժերը կոչվում են ***կենտրոնական ուժեր***:

Այժմ պարզենք, թե ինչպես Նյուտոնը հանգեց տիեզերական ձգողության օրենքի (6.3) արտահայտությանը:

Ինչպես հայտնի է, մոլորակներից շատերի ուղեծրերը քիչ են տարբերվում շրջանագծերից: Եթե մոլորակը շրջանագծով շարժվում է հավասարաչափ, ապա այն օժտված է $4\pi^2 r/T^2$ կենտրոնաձիգ արագացմամբ, որտեղ T-ն Արեգակի շուրջը մոլորակի պտտման պարբերությունն է, իսկ r-ը՝ նրա հեռավորությունն Արեգակից: Ըստ Նյուտոնի երկրորդ օրենքի՝ մոլորակի արագացումը հավասար է նրա վրա ազդող F ուժի և մոլորակի m զանգվածի հարաբերությանը՝

$$\frac{F}{m} = \frac{4\pi^2 r}{T^2},$$

որտեղից՝

$$F = \frac{m}{r^2} \cdot \frac{4\pi^2 r^3}{T^2}: \qquad (6.4)$$

Համաձայն Կեպլերի հայտնի օրենքի՝ r^3/T^2 մեծությունը նույնն է Արեգակնային համակարգի բոլոր մոլորակների համար, ուստի (6.4) հավասարումից հետևում է, որ

մոլորակի վրա ազդող ուժն ուղիղ համեմատական է մոլորակի զանգվածին և հակադարձ համեմատական է Արեգակից նրա ունեցած հեռավորության քառակուսուն`

$$F \sim \frac{m}{r^2} : \quad (6.5)$$

Բայց Արեգակը և մոլորակը միմյանց հետ փոխազդեցության մեջ են մտնում որպես «իրավահավասար» մարմիններ, ուստի, եթե նրանց փոխազդեցության ուժն ուղիղ համեմատական է մարմիններից մեկի` մոլորակի $m$ զանգվածին, ապա այն պետք է համեմատական լինի նաև մյուսի` Արեգակի M զանգվածին`

$$F \sim \frac{mM}{r^2} : \quad (6.6)$$

Մտցնելով փոխազդող մարմիններից և նրանց հեռավորությունից կախում չունեցող G համեմատականության գործակիցը, որի շնորհիվ աջ մասը ձեռք է բերում ուժի չափայնություն, հանգում ենք տիեզերական ձգողության օրենքի (6.3) բանաձևին:

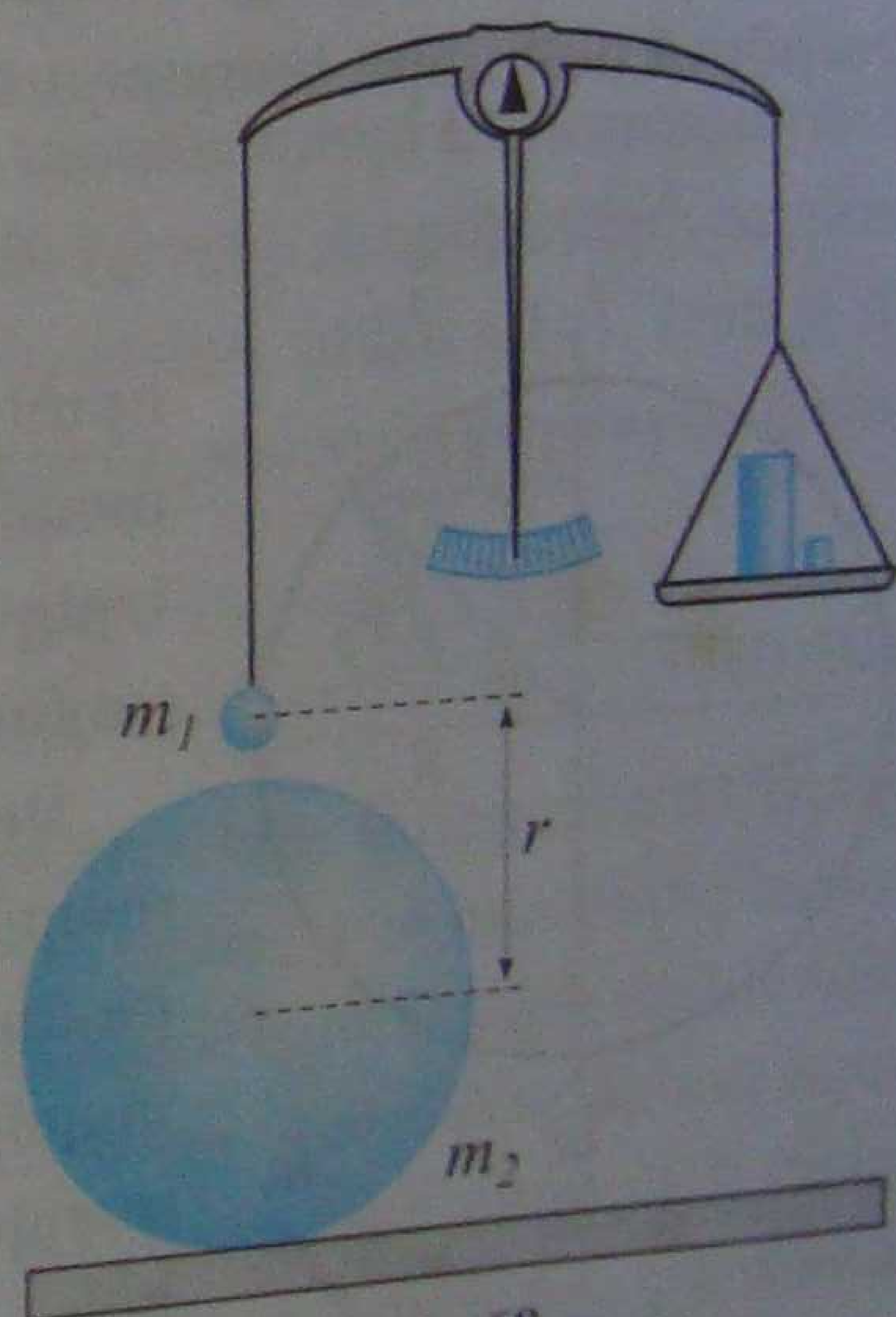
Նշենք, որ տիեզերական ձգողության օրենքը մենք չարտածեցինք, ինչպես այն չի արտածել և Նյուտոնը. նա նկատել է օրինաչափությունն այն ուժերում, որոնք գործում են Տիեզերքում, ստուգել, գրի առել այն և տարածել է բոլոր մարմինների վրա:

Գրավիտացիոն հաստատունի որոշումը: Տիեզերական ձգողության օրենքի բանաձևի մեջ մտնող G գործակիցն ունի պարզ և հասկանալի իմաստ: Ինչպես հետևում է (6.3) բանաձևից, G-ն թվապես հավասար է այն ուժին, որով միմյանց ձգում են 1-ական կգ զանգված ունեցող համասեռ գնդերը, երբ նրանց կենտրոնների հեռավորությունը 1 մ է: (6.3) բանաձևից`

$$G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2} :$$

ՄՀ-ում գրավիտացիոն հաստատունի միավորն է`

$$[G] = \frac{[F]\cdot[r^2]}{[m^2]} = 1\frac{\text{Ն}\cdot\text{մ}^2}{\text{կգ}^2} = 1\frac{\text{մ}^3}{\text{կգ}\cdot\text{վ}^2} :$$



Նկ. 68

Տիեզերական ձգողության հաստատունի թվային արժեքը որոշվում է փորձով. չափվում է այն F ուժը, որն ազդում է միմյանցից r հայտնի հեռավորության վրա գտնվող, m_1 և m_2 հայտնի զանգվածներով մարմիններից մեկի վրա:

Այդպիսի փորձերից մեկը հետևյալն է: Զգայուն կշեռքի նժարից, երկար թելի միջոցով, կախում են սնդիկով լցված մի պակե գունդ (նկ. 68): Մյուս նժարին դնում են հավասարակշռող կշռաքարեր: Երբ կշեռքը հավասարակշռվում է, սնդիկով լցված գնդի տակ, նրան հնարավորին չափով մոտ, տեղադրում են մեծ զանգված (մոտ 6000 կգ) ունեցող կապարե գունդ: Կշեռքի հավասարակշռությունը խախտվում է սնդիկով լցված գնդի և կապարե գնդի ձգողության հետևանքով: Հավասարակշռությունը վերականգնելու համար մյուս նժարին կշռաքարեր են ավելացնում: Գնդերի փոխազդեցության ուժը հավասար է ավելացված կշռաքարերի կշռին:

Այս և շատ ուրիշ փորձերից ստացվել է G հաստատունի թվային արժեքը՝

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Ն} \cdot \text{մ}^2}{\text{կգ}^2}\ :$$

Սա շատ փոքր մեծություն է: Հենց այդ հանգամանքի շնորհիվ էլ մենք չենք նկատում մեզ շրջապատող մարմինների ձգողությունը: Երկու մարմինների ձգողության ուժը համեմատելի արժեքի միայն այն դեպքում, երբ մարմինները (կամ թեկուզ դրանցից մեկը) օժտված են բավականաչափ մեծ զանգվածներով:

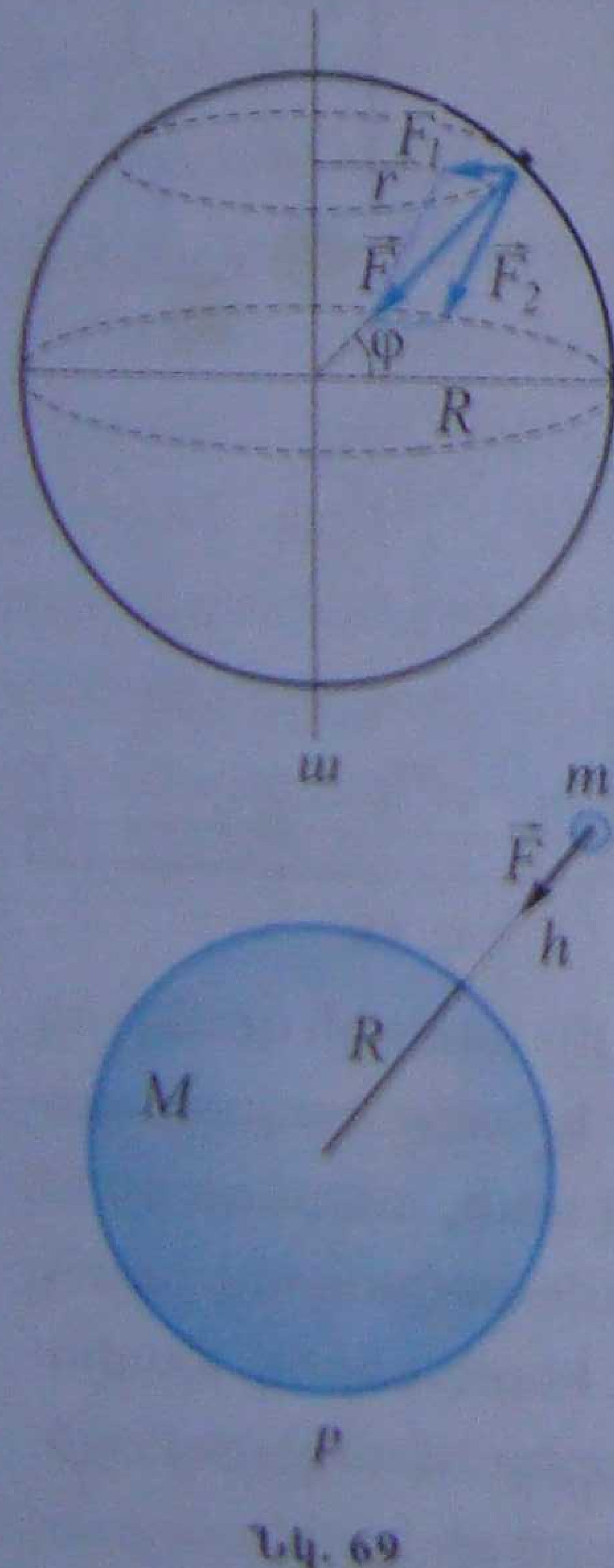
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մարմիններն են փոխազդում տիեզերական ձգողության ուժերով:*
2. *Ձևակերպե՛ք տիեզերական ձգողության օրենքը:*
3. *Ո՞րն է տիեզերական ձգողության հաստատունի ֆիզիկական իմաստը:*
4. *Ինչու՞ մենք չենք նկատում մեզ շրջապատող մարմինների ձգողությունը:*

§ 28. Ծանրության ուժ: Ազատ անկման արագացում

Երկրի մակերևույթին գտնվող ցանկացած մարմնի վրա ազդում է Երկրի ձգողության (տիեզերական) $\vec{F}$ ուժը, որն ուղղված է դեպի Երկրի կենտրոն (նկ. 69,ա): Շփման ուժերի բացակայության դեպքում Երկրի օրական պտույտով պայմանավորված շրջանագծային շարժում մարմնին հաղորդում է այդ ուժի $\vec{F}_1$ բաղադրիչը, հետևաբար՝

$$F_1 = m\omega^2 r = m\omega^2 R\cos\varphi\ ,$$



Նկ. 69

որտեղ m-ը մարմնի զանգվածն է, ω-ն Երկրի՝ սեփական առանցքի շուրջը պտտման անկյունային արագությունը, R-ը՝ Երկրի շառավիղը, φ-ն՝ տվյալ վայրի աշխարհագրական լայնությունը:

Ձգողության ուժի մյուս բաղադրիչը, որը $\vec{F}$ և $\vec{F}_1$ ուժերի տարբերությունն է, 7-րդ դասարանի դասընթացից ծեզ հայտնի ծանրության ուժն է՝ այն ուժը, որով Երկիրը դեպի իրեն է ձգում մարմինը: Երկրի մակերևույթի տվյալ կետում ծանրության ուժն ուղղված է ուղղաձիգով (հենց այդ գծով է ուղղվում ուղղալարը), իսկ նրան ուղղահայաց հարթությունը հորիզոնական հարթությունն է: Ծանրության ուժը կախված է մարմնի տեղի դիրքից, մասնավորապես՝ աշխարհագրական լայնությունից:

Իր առանցքի շուրջը Երկրի համեմատաբար դանդաղ պտտման հետևանքով ծանրության և ձգողության ուժերի տարբերությունը շատ փոքր է: Երկրի բևեռներում դրանք համընկնում են, իսկ միջօրեականով դեպի հասարակած շարժվելիս՝ դրանց տարբերությունն աստիճանաբար աճում է: Այդ ուժերի ամենամեծ տարբերությունը դիտվում է հասարակածում, որտեղ դրանք

ուղղություններով համընկնում են, իսկ մոդուլների տարբերությունը չի գերազանցում 0.35 %-ը: Հաշվի առնելով այս հանգամանքը՝ գործնականում հաճախ ընդունում են, որ ծանրության ուժը հավասար է Երկրի ձգողության ուժին և նրա մոդուլը որոշում են տիեզերական ձգողության օրենքից: Եթե m զանգվածով մարմինը գտնվում է Երկրի մակերևույթից h բարձրության վրա (նկ. 69.բ), ապա, համաձայն տիեզերական ձգողության օրենքի, Երկրի ձգողության ուժը՝

$$F = G\frac{mM}{(R+h)^2}, \qquad (6.7)$$

որտեղ M-ը Երկրի զանգվածն է, G-ն՝ գրավիտացիոն հաստատունը: Պարզենք, թե ինչ արագացմամբ կշարժվի մարմինը, եթե նրա վրա ազդի միայն ծանրության ուժը:

Միայն ծանրության ուժի ազդեցությամբ մարմնի շարժումն անվանում են ազատ անկում: (6.7) հավասարումից ազատ անկման արագացումը կլինի՝

$$g = \frac{F}{m} = G\frac{Mm}{m(R+h)^2} = G\frac{M}{(R+h)^2}: \qquad (6.8)$$

Երկրի մակերևույթի մոտ $h << R$, ուստի ազատ անկման արագացման (6.8) բանաձևն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$\boxed{g \approx G\frac{M}{R^2}}: \qquad (6.9)$$

(6.8) և (6.9) արտահայտություններից երևում է, որ ազատ անկման արագացումը կախված չէ մարմնի զանգվածից, հետևաբար՝ այն նույնն է բոլոր մարմինների համար: Երբ g մե-
Այս փաստը Գալիլեյը ստացել էր փորձնական ճանապարհով (տե՛ս § 14): Եթե g մե-
ծությանը վերագրենք ուղղություն, որը համընկնում է ծանրության ուժի ուղղության հետ, ապա ծանրության ուժի համար կունենանք՝

$$\vec{F} = m\vec{g}: \qquad (6.10)$$

Ազատ անկման արագացումը, ինչպես երևում է (6.8) բանաձևից, փոքրանում է Երկրի մակերևույթից հեռանալուն զուգընթաց: Այսպես, 300 կմ բարձրության հասնելիս ազատ անկման արագացումը փոքրանում է 1 մ/վ^2-ով: Սա նշանակում է, որ Երկրի մակերևույթից մինչև մի քանի տասնյակ կիլոմետր բարձրությունների վրա ազատ անկման արագացումը և ծանրության ուժը կարելի է մեծ ճշտությամբ համարել հաստատուն և մարմնի դիրքից անկախ: Դա է պատճառը, որ ազատ անկումը Երկրի մակերևույթի մոտակայքում համարում են հավասարաչափ արագացող շարժում:

Ազատ անկման արագացման (6.9) բանաձևից երևում է, որ այն կախված է Երկրի շառավղից: Բայց երկրագունդը բևեռներում մի փոքր «սեղմված» է պտտման առանցքի ուղղությամբ, ուստի տարբեր աշխարհագրական լայնություններում R-ը տարբեր է. հասարակածից դեպի բևեռ տեղափոխվելիս այն փոքրանում է, որի հետևանքով բևեռներում ազատ անկման արագացումն ավելի մեծ է, քան հասարակածում:

Երկրի տարբեր կետերում ազատ անկման արագացման տարբեր լինելու մյուս, ավելի էական պատճառը երկրագնդի օրական պտույտն է սեփական առանցքի շուրջը:

ուղղությամբ համընկնում են, իսկ մոդուլների տարբերությունը չի գերազանցում 0,35 %-ը: Հաշվի առնելով այս հանգամանքը՝ գործնականում հաճախ ընդունում են, որ ծանրության ուժը հավասար է Երկրի ձգողության ուժին և նրա մոդուլը որոշում են տիեզերական ձգողության օրենքից: Եթե m զանգվածով մարմինը գտնվում է Երկրի մակերևույթից h բարձրության վրա (նկ. 69,բ), ապա, համաձայն տիեզերական ձգողության օրենքի, Երկրի ձգողության ուժը՝

$$F = G\frac{mM}{(R+h)^2}, \tag{6.7}$$

որտեղ M -ը Երկրի զանգվածն է, G-ն՝ գրավիտացիոն հաստատունը: Պարզենք, թե ինչ արագացմամբ կշարժվի մարմինը, եթե նրա վրա ազդի միայն ծանրության ուժը:

Միայն ծանրության ուժի ազդեցությամբ մարմնի շարժումն անվանում են ազատ անկում: (6.7) հավասարումից ազատ անկման արագացումը կլինի՝

$$g = \frac{F}{m} = G\frac{Mm}{m(R+h)^2} = G\frac{M}{(R+h)^2}: \tag{6.8}$$

Երկրի մակերևույթի մոտ $h << R$, ուստի ազատ անկման արագացման (6.8) բանաձևն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$\boxed{g \approx G\frac{M}{R^2}}: \tag{6.9}$$

(6.8) և (6.9) արտահայտություններից երևում է, որ ազատ անկման արագացումը կախված չէ մարմնի զանգվածից, հետևաբար՝ այն նույնն է բոլոր մարմինների համար: Այս փաստը Գալիլեյը ստացել էր փորձնական ճանապարհով (տե՛ս § 14): Եթե g մեծության վերագրենք ուղղություն, որը համընկնում է ծանրության ուժի ուղղության հետ, ապա ծանրության ուժի համար կունենանք՝

$$\vec{F} = m\vec{g}: \tag{6.10}$$

Ազատ անկման արագացումը, ինչպես երևում է (6.8) բանաձևից, փոքրանում է Երկրի մակերևույթից հեռանալուն զուգընթաց: Այսպես, 300 կմ բարձրության հասնելիս ազատ անկման արագացումը փոքրանում է 1 մ/վ²-ով: Սա նշանակում է, որ Երկրի մակերևույթից մինչև մի քանի տասնյակ կիլոմետր բարձրությունների վրա ազատ անկման արագացումը և ծանրության ուժը կարելի է մեծ ճշտությամբ համարել հաստատուն և մարմնի դիրքից անկախ: Դա է պատճառը, որ ազատ անկումը Երկրի մակերևույթի մոտակայքում համարում են հավասարաչափ արագացող շարժում:

Ազատ անկման արագացման (6.9) բանաձևից երևում է, որ այն կախված է Երկրի շառավղից: Բայց երկրագունդը բևեռներում մի փոքր «սեղմված» է պտտման առանցքի ուղղությամբ, ուստի տարբեր աշխարհագրական լայնություններում R -ը տարբեր է. հասարակածից դեպի բևեռ տեղափոխվելիս այն փոքրանում է, որի հետևանքով բևեռներում ազատ անկման արագացումն ավելի մեծ է, քան հասարակածում:

Երկրի տարբեր կետերում ազատ անկման արագացման տարբեր լինելու մյուս, ավելի էական պատճառը երկրագնդի օրական պտույտն է սեփական առանցքի շուրջը:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ Երկրի մակերևույթին չափված ազատ անկման արագացումը բևեռներում մոտավորապես 9,83 մ/վ² է, հասարակածում՝ 9,78 մ/վ², իսկ 45° լայնության վրա՝ 9,81 մ/վ²:

Բերված թվերը ցույց են տալիս, որ ազատ անկման արագացման արժեքները երկրագնդի տարբեր շրջաններում շատ քիչ են տարբերվում իրարից: Ուստի մեծ ճշտություն չպահանջող հաշվարկներում անտեսում են Երկրի օրական պտույտը և Երկրի ոչ լրիվ գնդաձև լինելու հանգամանքը՝ ազատ անկման արագացումն ամենուր ընդունելով մոտավորապես հավասար 9,81 մ/վ², երբեմն էլ՝ 10 մ/վ²:

Երկրագնդի որոշ վայրերում ազատ անկման արագացումը տվյալ աշխարհագրական լայնության վրա ազատ անկման արագացման $g_{միջ}$ արժեքից տարբերվում է Երկրի ընդերքի անհամասեռության պատճառով: $\Delta g = g - g_{միջ}$ տարբերությունը կոչվում է ***գրավիտացիոն շեղում***:

Դրական շեղումները հաճախ վկայում են ընդերքում համեմատաբար մեծ խտությամբ, օրինակ՝ մետաղական հանածոների պաշարների, իսկ բացասական շեղումները՝ թեթև օգտակար հանածոների, օրինակ՝ նավթի և գազի պաշարների առկայության մասին:

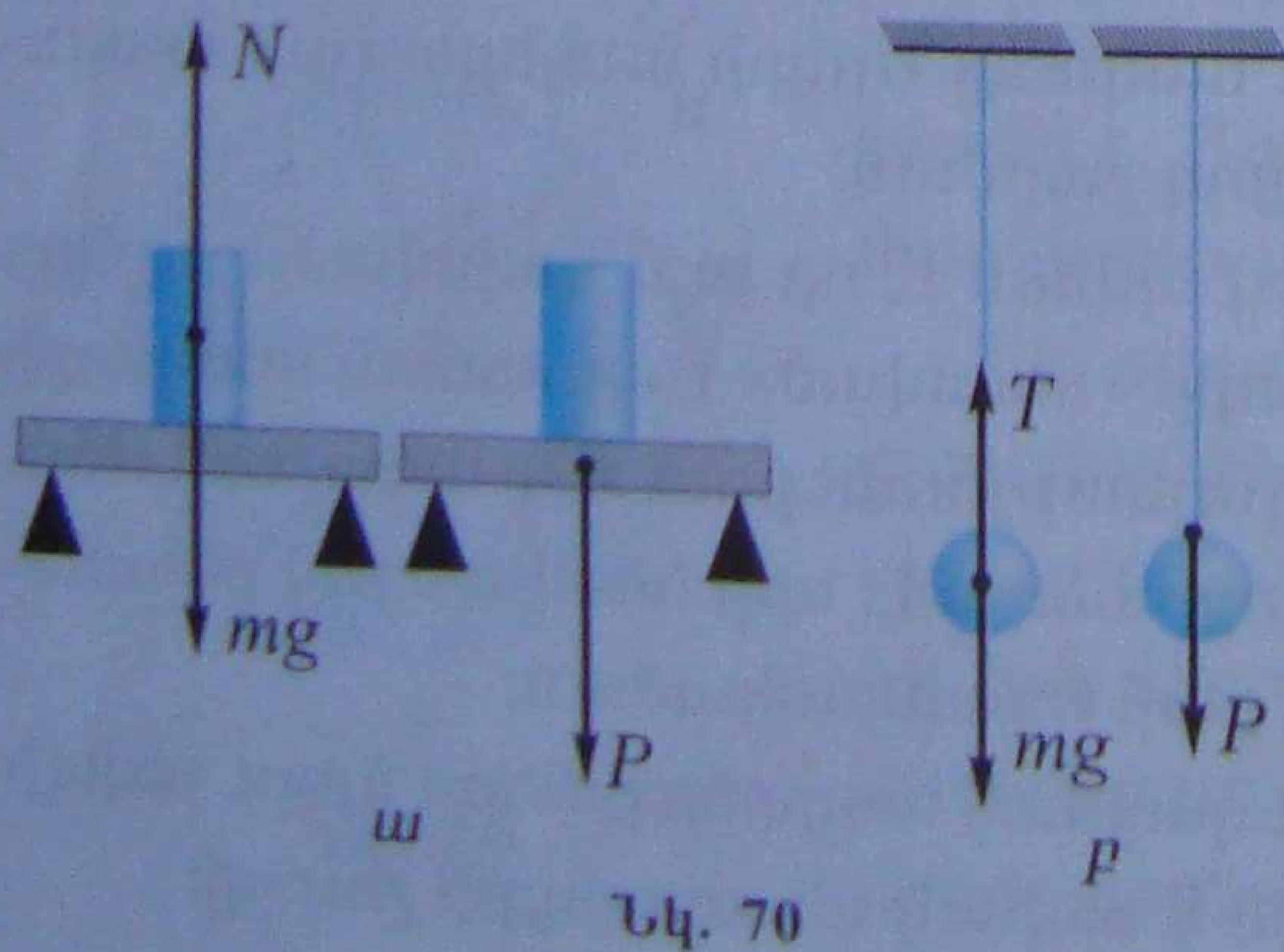
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն է կոչվում ծանրության ուժ:*
2. *Ինչպե՞ս է ուղղված ցանկացած մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժը:*
3. *Ինչի՞ է հավասար ազատ անկման արագացումը Երկրի մակերևույթից h բարձրության վրա:*
4. *Երկրագնդի տարբեր կետերում ազատ անկման արագացումները որոշ չափով տարբերվում են: Որո՞նք են դրա պատճառները (նշե՛ք 3 պատճառ):*
5. *Ի՞նչ է գրավիտացիոն շեղումը:*

§ 29. Մարմնի կշիռ: Արագացմամբ շարժվող մարմնի կշիռը: Անկշռություն: Երկրի արհեստական արբանյակներ: Առաջին տիեզերական արագություն

Մարմնի կշիռ: ***Մարմնի կշիռ կոչվում է այն ուժը, որով մարմինը Երկրի ձգողության հետևանքով ազդում է հորիզոնական հենարանի կամ ուղղաձիգ կախոցի վրա:***

Դիտարկենք հորիզոնական հենարանի վրա գտնվող մարմինը: Մարմնի վրա ազդում է ուղղաձիգ դեպի ներքև ուղղված ծանրության ուժը: Եթե հենարանը չլիներ, ապա մարմինը կընկներ ներքև: Մարմնի ազդեցությամբ հենարանը դեֆորմացվում է, որի հետևանքով նրանում առաջանում է առաձգականության ուժ, որով հենարանն ազդում է մարմնի վրա (նկ. 70,ա):



Նկ. 70

Այդ ուժն անվանում են ***հակազդեցության ուժ*** և նշանակում $\vec{N}$ տառով: Նյուտոնի երրորդ օրենքից հետևում է, որ մարմնի կողմից հենարանի վրա ազդող ուժը հավասար է հակազդե-

ցության ուժին՝ հակառակ նշանով և ունի նույն բնույթը, ինչ որ առաձգականության ուժը, այսինքն՝ էլեկտրամագնիսական ուժ է: Հենց այդ ուժն էլ անվանում են **մարմնի կշիռ** և նշանակում $\vec{P}$ տառով՝

$$\boxed{\vec{P} = -\vec{N}} : \qquad (6.11)$$

Եթե մարմինը գտնվում է դադարի (կամ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման) վիճակում, ապա, համաձայն Նյուտոնի առաջին օրենքի, նրա վրա ազդող ուժերի գումարը հավասար է զրոյի՝

$$\vec{N} + m\vec{g} = 0 ,$$

որտեղից՝

$$\boxed{\vec{P} = -\vec{N} = m\vec{g}} , \qquad (6.12)$$

այսինքն՝ ***դադարի վիճակում գտնվող մարմնի կշիռը հավասար է նրա վրա ազդող ծանրության ուժին:***

Բայց սա չի նշանակում, որ մարմնի կշիռը և նրա վրա ազդող ծանրության ուժը նույն ուժերն են: ***Ծանրության ուժը*** գրավիտացիոն ուժ է, որը ***կիրառված է մարմնի վրա***, իսկ ***մարմնի կշիռն*** առաձգականության ուժ է. այն առաջանում է մարմնի դեֆորմացիայի հետևանքով և ***ազդում է հենարանի վրա***:

Եթե մարմինը կախված է ուղղաձիգ կախոցից (նկ. 70,$բ$), ապա կախոցի վրա նույնպես ազդում է համանման ձևով առաջացած և նույնպես մարմնի կշիռ կոչվող $\vec{P}$ ուժը՝ $\vec{P} = -\vec{T}$, որտեղ $\vec{T}$-ն թելի լարվածության ուժն է:

Արագացմամբ շարժվող մարմնի կշիռը: Հենարանի հետ միասին արագացմամբ շարժվող մարմնի կշիռը տարբերվում է ծանրության ուժից:

Նյուտոնի երկրորդ օրենքը գրենք տրված $\vec{a}$ արագացմամբ շարժվող մարմնի համար, որի վրա ազդում են ծանրության և հենարանի հակազդեցության ուժերը՝

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} : \qquad (6.13)$$

Նկատի ունենալով նաև մարմնի կշռի (6.11) սահմանումը՝ կստանանք՝

$$\boxed{\vec{P} = m\vec{g} - m\vec{a} = m(\vec{g} - \vec{a})} , \qquad (6.14)$$

որի համաձայն արագացմամբ շարժվող մարմնի կշիռն իրոք տարբերվում է ծանրության ուժից: Ուսումնասիրենք (6.14) արտահայտության մի քանի կարևոր դեպք:

1. Մարմնի արագացումն ուղղված է ուղղաձիգ դեպի վեր: (6.14) հավասարությունը պրոյեկտելով ուղղաձիգ ուղղության վրա, որպես դրական ընդունելով ազատ անկման արագացման ուղղությունը՝ կստանանք՝

$$P = m(g + a), \qquad (6.15)$$

այսինքն՝ մարմնի կշիռը մեծ է նրա վրա ազդող ծանրության ուժից:

Եթե մարմինը հենարանի կամ կախոցի հետ միասին շարժվում է մի արագացմամբ, որը հակառակ է ուղղված ազատ անկման արագացմանը, նրա կշիռը գերազանցում է դադարի վիճակում ունեցած կշռին:

Մարմնի կշռի մեծացումը, որի պատճառը նրա արագացող շարժումն է, կոչվում է **գերբեռնվածություն**:

2. Մարմնի արագացումն ուղղված է ուղղաձիգ դեպի ներքև: Այս դեպքում (6.14) արտահայտությունից հետևում է, որ

$$P = m(g - a)$$ (6.16)

Այստեղից երևում է, որ երբ $a < g$, ապա մարմնի կշիռը փոքր է ծանրության ուժից, [illegible]

[illegible]

Երբ $a = g$, [illegible] մարմնի կշիռը $P = 0$: [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

$$a = \frac{F}{m} = G\frac{M}{(R+h)^2}$$ (6.17)

[illegible] $a = v^2/(R+h)$ բանաձևից՝

$$\frac{v^2}{R+h} = \frac{GM}{(R+h)^2},$$

որտեղից՝

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$ (6.18)



Նկ. 75

[illegible]

2. *Մարմնի արագացումն ուղղված է ուղղաձիգ դեպի ներքև:* Այս դեպքում (6.14) արտահայտությունից հետևում է, որ

$$P = m(g - a): \tag{6.16}$$

Այստեղից երևում է, որ եթե $a < g$, ապա մարմնի կշիռը փոքր է ծանրության ուժից, այսինքն՝ դադարի վիճակում գտնվող մարմնի կշռից:

Եթե մարմինը հենարանի կամ կախոցի հետ միասին շարժվում է այնպիսի արագացմամբ, որը համուղղված է ազատ անկման արագացմանը, ապա նրա կշիռը փոքր է դադարի վիճակում ունեցած կշռից:

Եթե $a = g$, այսինքն՝ մարմինը հենարանի (կախոցի) հետ միասին ազատ անկում է կատարում, ապա (6.16) բանաձևից հետևում է, որ մարմնի կշիռը՝ $P = 0$: Մարմնի կշռի անհետացումը, երբ հենարանը շարժվում է ազատ անկման արագացմամբ, կոչվում է ***անկշռություն***: Անկշռությունը բացատրվում է տիեզերական ձգողության ուժի և, մասնավորապես, ծանրության ուժի այն հատկությամբ, որ այդ ուժերը բոլոր մարմիններին նույն արագացումն են հաղորդում: Ուստի՝ միայն ծանրության ուժի ազդեցությամբ շարժվող մարմինը գտնվում է անկշռության վիճակում: Այդպիսի վիճակում է գտնվում ցատկորդը՝ գետնից պոկվելու պահից մինչև գետնին իջնելու պահը, ջրացատկորդը՝ աշտարակից պոկվելու պահից մինչև ջրին հասնելու պահը, վազորդը՝ գետնի հետ ոտքի մի հպումից մինչև մյուս հպումն ընկած փոքր ժամանակամիջոցում և այլն:

Անկշռության վիճակ դիտվում է տիեզերանավում, երբ այն շարժվում է ազատ անկման արագացմամբ, անկախ նրա շարժման ուղղությունից: Երկրի մթնոլորտից դուրս անջատված շարժիչով տիեզերանավի վրա ազդում է միայն տիեզերական ձգողության ուժը: Այդ ուժի ազդեցությամբ տիեզերանավը և նրանում գտնվող բոլոր մարմինները շարժվում են նույն արագացմամբ, ուստի գտնվում են անկշռության վիճակում:

Հաշվենք այն արագացումը, որով անջատած շարժիչով տիեզերանավը հավասարաչափ պտտվում է Երկրի շուրջը՝ նրա մակերևույթից h բարձրության վրա (նկ. 71): Երկրի կողմից տիեզերանավի վրա ազդող ուժի (6.7) բանաձևից և Նյուտոնի երկրորդ օրենքից կենտրոնաձիգ արագացման համար կստանանք՝

$$a = \frac{F}{m} = G\frac{M}{(R+h)^2}: \tag{6.17}$$

Տիեզերանավի շարժման արագությունը կարելի է գտնել՝ օգտվելով կենտրոնաձիգ արագացման $a = v^2/(R+h)$ բանաձևից՝

$$\frac{v^2}{R+h} = \frac{GM}{(R+h)^2},$$



Նկ. 71

որտեղից՝

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}: \tag{6.18}$$

Տիեզերանավի նման, ցանկացած մարմին, որին հորիզոնական ուղղությամբ հաղորդվել է (6.18) բանաձևով որոշվող արագությամբ շարժում, կպտտվի Երկրի շուրջը

$r = R + h$ շառավիղ ունեցող շրջանային հետագծով՝ դառնալով նրա արհեստական արբանյակը:

Հաշվենք այդ արագությունն այն արբանյակի համար, որը շարժվում է երկրամերձ ուղեծրով՝ $h << R$: (6.18) բանաձևում h-ն անտեսելով R-ի նկատմամբ՝ կստանանք՝

$$v \approx \sqrt{G\frac{M}{R}}$$

կամ, նկատի ունենալով (6.9) բանաձևը,

$$\boxed{v \approx \sqrt{Rg}}: \qquad (6.19)$$

Այս բանաձևի մեջ տեղադրելով $g = 9{,}81$ մ/վ² և $R \approx 6{,}4 \cdot 10^6$ մ արժեքները՝ կստանանք՝ $v \approx 8$ կմ/վ: Եթե հորիզոնական ուղղությամբ այսպիսի արագություն հաղորդվի Երկրի մակերևույթին մոտ գտնվող մարմնին, ապա այն կպտտվի Երկրի շուրջը շրջանային ուղեծրով, այսինքն՝ կդառնա Երկրի արհեստական արբանյակ: Այս արագությունն անվանում են ***առաջին տիեզերական արագություն***:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում մարմնի կշիռ:*
2. *Ո՞ր ուժն են անվանում հակազդեցության ուժ: Ինչպե՞ս է այն ուղղված:*
3. *Ինչպե՞ս է փոփոխվում մարմնի կշիռն արագացող շարժման դեպքում:*
4. *Ո՞ր երևույթն են անվանում անկշռություն:*
5. *Ո՞ր արագությունն է կոչվում առաջին տիեզերական արագություն:*
6. *Ի՞նչ ուղղություն պետք է ունենա առաջին տիեզերական արագություն ձեռք բերած մարմնի արագությունը, որպեսզի մարմինը դառնա Երկրի արհեստական արբանյակ:*

§ 30. Շփման ուժեր: Դադարի շփման ուժ: Սահքի շփում: Շփման գործակից: Դիմադրության ուժ

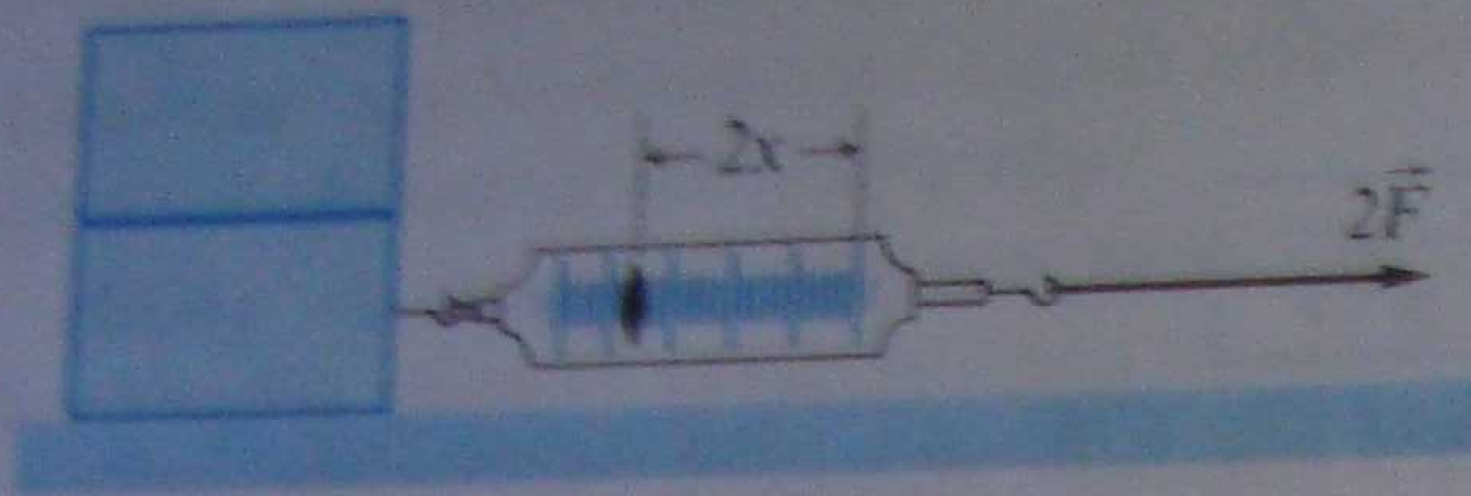
Հպվող պինդ մարմինների մակերևույթների միջև առաջանում են ուժեր, որոնք ուղղված են հպման մակերևույթին զուգահեռ: Այդ ուժերը կոչվում են ***շփման ուժեր***: Տարբերում են շփման ուժի երեք տեսակ՝ դադարի, սահքի և գլորման:

Դադարի շփման ուժ: Դադարի շփման ուժը փորձնականորեն ուսումնասիրելու համար պատվանդանին գտնվող չորսուին ամրացնենք ուժաչափ և, այն հորիզոնական ուղղությամբ ձգելով, փորձենք չորսուն շարժել տեղից (նկ. 72): Մենք կնկատենք, որ սկզբում ուժաչափի զսպանակը ձգվում է, բայց մարմինը դեռ չի «շտապում» տեղից շարժվել: Ուժաչափը ցույց է տալիս, որ չորսուի վրա հորիզոնական ուղղությամբ ուժ է ազդում, սակայն չորսուն մնում է անշարժ: Սա նշանակում է, որ չորսուի վրա պատվանդանի մակերևույթին զուգահեռ ուժ ազդելիս, չորսուի և պատվանդանի հպման մակերևույթների միջև առաջանում է ազդող ուժին հակառակ ուղղված և մոդուլով նրան հավասար ուժ:

Այն շփման ուժը, որն առաջանում է հպվող մարմինների մակերևույթների սահմանին, նրանց հարաբերական (միմյանց նկատմամբ) շարժման բացակայության դեպքում, կոչվում է դադարի շփման ուժ:



Նկ. 72



Նկ. 73

Ավելի ուժեղ ձգենք զսպանակը: Ուժաչափը ցույց կտա, որ $\vec{F}$ ուժի մոդուլը մեծացել է: Բայց մարմինն առաջվա նման մնում է դադարի վիճակում: Նշանակում է՝ $\vec{F}$ ուժի մոդուլի հետ մեծացել է նաև դադարի շփման ուժի մոդուլը, այնպես որ այդ երկու ուժերը նորից մոդուլով հավասար են և ուղղված են իրար հակառակ:

Դադարի շփման ուժը միշտ մոդուլով հավասար և ուղղությամբ հակադիր է այն ուժին, որը կիրառվում է մարմնի նկատմամբ՝ մեկ այլ մարմնի հետ նրա հպման մակերևույթին զուգահեռ:

Եթե շարունակենք մեծացնել չորսուի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժի մոդուլը, ապա վերջինիս որոշակի արժեքի դեպքում մարմինը «կպոկվի» տեղից և կսկսի սահել: Ուրեմն՝ գոյություն ունի դադարի շփման առավելագույն ուժ՝ $\vec{F}_{դ.max}$: Եվ միայն այն դեպքում, երբ մակերևույթին զուգահեռ $\vec{F}$ ուժը մոդուլով դառնում է թեկուզ մի փոքր ավելի, քան այդ շփման ուժը, մարմինը սկսում է շարժվել արագացմամբ:

Դադարի շփման ուժը հենց այն ուժն է, որը խանգարում է մեզ տեղից շարժել ծանր առարկաները՝ պահարանը, սեղանը, արկղը և այլն:

Բայց ինչո՞վ է առարկայի ծանր լինելը կապված: Չէ՞ որ մենք այն դեպի վեր՝ ծանրության ուժին հակառակ չենք շարժում: Այս հարցին պատասխանում է փորձը:

Նկ. 72-ում պատկերված չորսուի վրա դնենք նույնպիսի մի չորսու (նկ. 73): Մենք, այսպիսով, կմեծացնենք մարմնի և պատվանդանի հպման մակերևույթին ուղղահայաց ազդող ուժը (մարմնի կողմից հենարանի մակերևույթին ուղղահայաց ազդող ուժը կոչվում է *ճնշման ուժ*): Եթե այժմ կրկին չափենք դադարի շփման առավելագույն ուժը, այսինքն՝ այն ուժը, որն անհրաժեշտ է, որպեսզի մարմինը սկսի սահել, ապա կտեսնենք, որ այն մեծացել է 2 անգամ: Ճիշտ երկու անգամ մեծացել է ճնշման ուժը, երբ չորսուի վրա երկրորդ նույնպիսի չորսու է դրվել: Կրկնելով փորձը՝ կարող ենք եզրակացնել, որ $\vec{F}_{դ.max}$-ը համեմատական է ճնշման ուժին:

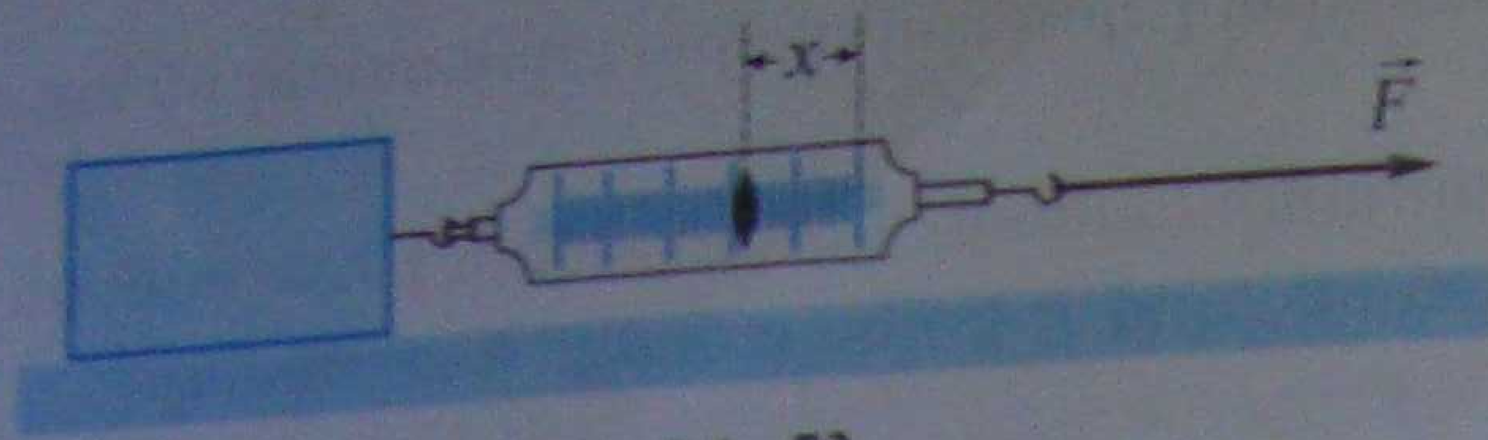
Ըստ Նյուտոնի երրորդ օրենքի՝ մարմնի կողմից հենարանի վրա ազդող ճնշման ուժը մոդուլով հավասար է հենարանի հակազդեցության ուժին: Ուստի դադարի շփման առավելագույն ուժն նույնպես համեմատական է հենարանի հակազդեցության ուժին: Հետևաբար՝ այդ ուժերի մոդուլների համար կարելի է գրել՝

$$F_{դ.max} = \mu_{դ} N, \tag{6.20}$$

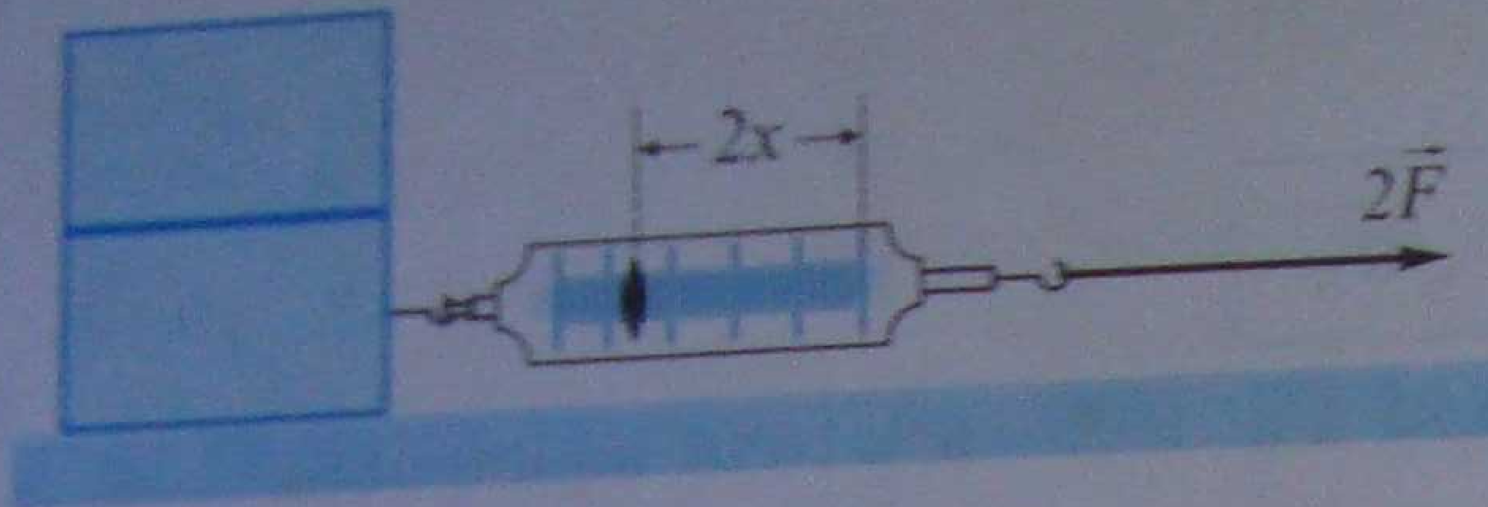
որտեղ $\mu_{դ}$ մեծությունը կոչվում է *դադարի շփման գործակից*:

Ինչպես մենք արդեն նշեցինք, դադարի շփման ուժն է, որ խանգարում է մեզ տեղից շարժել ծանր առարկաները: Բայց միշտ չէ, որ շփման ուժը խանգարում է շարժմանը: Շատ դեպքերում հենց դադարի շփման ուժն է շարժման առաջացման պատճառը: Օրինակ՝ ավտոմեքենան տեղից շարժվում է անիվների և գետնի միջև առաջացող դադարի շփման ուժի շնորհիվ: Եթե չլիներ դադարի շփման ուժը, անիվները

Ավելի ուժեղ ձգենք զսպանակը: Ուժաչափը ցույց կտա, որ $\vec{F}$ ուժի մոդուլը մեծացել է: Բայց մարմինն առաջվա նման մնում է դադարի վիճակում: Նշանակում է՝ $\vec{F}$ ուժի մոդուլի հետ մեծացել է նաև դադարի շփման ուժի մոդուլը, այնպես որ այդ երկու ուժերը նորից մոդուլով հավասար են և ուղղված են իրար հակառակ:



Նկ. 72



Նկ. 73

Դադարի շփման ուժը միշտ մոդուլով հավասար և ուղղությամբ հակադիր է այն ուժին, որը կիրառվում է մարմնի նկատմամբ՝ մեկ այլ մարմնի հետ նրա հպման մակերևույթին զուգահեռ:

Եթե շարունակենք մեծացնել չորսուի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժի մոդուլը, ապա վերջինիս որոշակի արժեքի դեպքում մարմինը «կպոկվի» տեղից և կսկսի սահել: Ուրեմն՝ գոյություն ունի դադարի շփման առավելագույն ուժ՝ $\vec{F}_{\text{դ}\,max}$: Եվ միայն այն դեպքում, երբ մակերևույթին զուգահեռ $\vec{F}$ ուժը մոդուլով դառնում է թեկուզ մի փոքր ավելի, քան այդ շփման ուժը, մարմինը սկսում է շարժվել արագացմամբ:

Դադարի շփման ուժը հենց այն ուժն է, որը խանգարում է մեզ տեղից շարժել ծանր առարկաները՝ պահարանը, սեղանը, արկղը և այլն:

Բայց ինչու՞ է առարկայի ծանր լինելը կարևոր: Չէ՞ որ մենք այն դեպի վեր՝ ծանրության ուժին հակառակ չենք շարժում: Այս հարցին պատասխանում է փորձը:

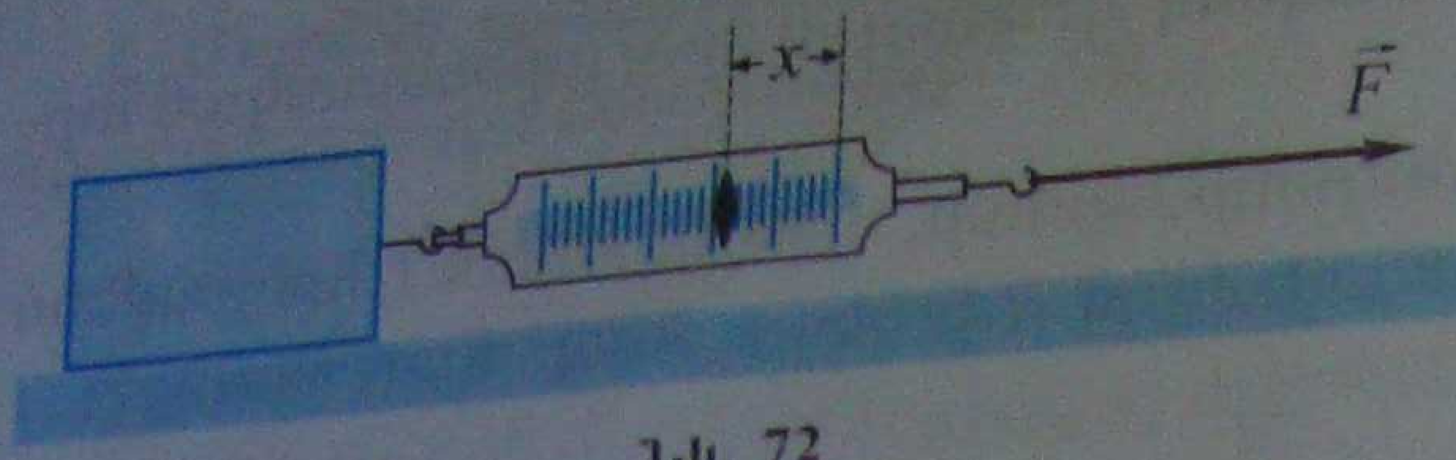
Նկ. 72-ում պատկերված չորսուի վրա դնենք նույնպիսի մի չորսու (նկ. 73): Մենք, այդպիսով, կմեծացնենք մարմնի և պատվանդանի հպման մակերևույթին ուղղահայաց ազդող ուժը (մարմնի կողմից հենարանի մակերևույթին ուղղահայաց ազդող ուժը կոչվում է *ճնշման ուժ*): Եթե այժմ կրկին չափենք դադարի շփման առավելագույն ուժը, այսինքն՝ այն ուժը, որն անհրաժեշտ է, որպեսզի մարմինը սկսի սահել, ապա կտեսնենք, որ այն մեծացել է 2 անգամ: Ճիշտ երկու անգամ մեծացել է ճնշման ուժը, երբ չորսուի վրա երկրորդ նույնպիսի չորսու է դրվել: Կրկնելով փորձը՝ կարող ենք եզրակացնել, որ $\vec{F}_{\text{դ}\,max}$-ը համեմատական է ճնշման ուժին:

Ըստ Նյուտոնի երրորդ օրենքի՝ մարմնի կողմից հենարանի վրա ազդող ճնշման ուժը մոդուլով հավասար է հենարանի հակազդեցության ուժին: Ուստի դադարի շփման առավելագույն ուժն ուղիղ համեմատական է հենարանի հակազդեցության ուժին: Հետևաբար՝ այդ ուժերի մոդուլների համար կարելի է գրել՝

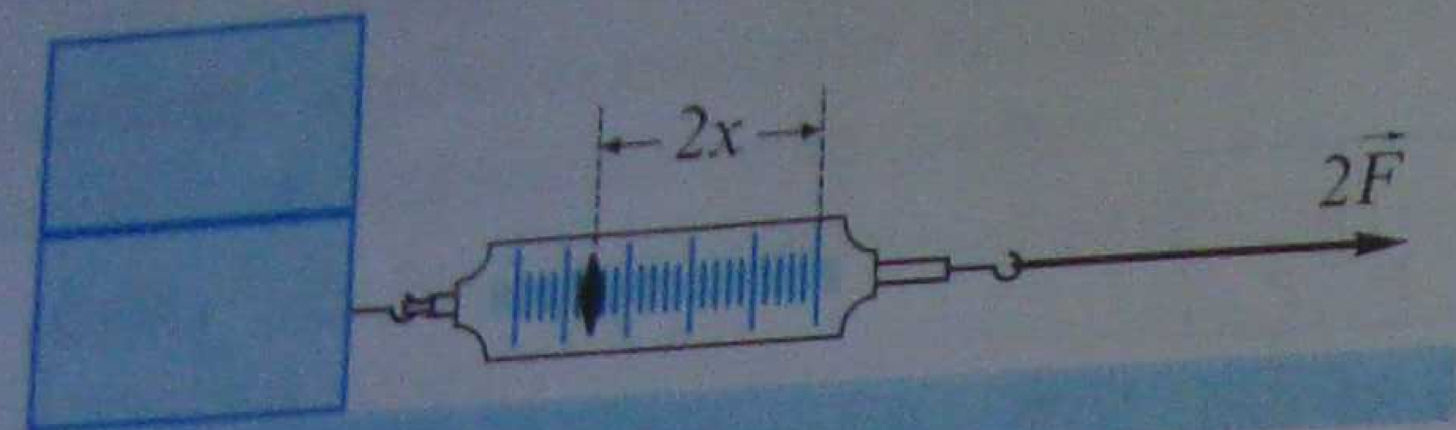
$$F_{\text{դ}\,max} = \mu_{\text{դ}} N \quad , \qquad (6.20)$$

որտեղ $\mu_{\text{դ}}$ մեծությունը կոչվում է *դադարի շփման գործակից*:

Ինչպես մենք արդեն նշեցինք, դադարի շփման ուժն է, որ խանգարում է մեզ տեղից շարժել ծանր առարկաները: Բայց միշտ չէ, որ շփման ուժը խանգարում է շարժմանը: Շատ դեպքերում հենց դադարի շփման ուժն է շարժման առաջացման պատճառը: Օրինակ՝ ավտոմեքենան տեղից շարժվում է անիվների և գետնի միջև առաջացող դադարի շփման ուժի շնորհիվ: Եթե չլիներ դադարի շփման ուժը, անիվները



Նկ. 72



Նկ. 73

Ավելի ուժեղ ձգենք զսպանակը: Ուժաչափը ցույց կտա, որ $\vec{F}$ ուժի մոդուլը մեծացել է: Բայց մարմինն առաջվա նման մնում է դադարի վիճակում: Նշանակում է՝ $\vec{F}$ ուժի մոդուլի հետ մեծացել է նաև դադարի շփման ուժի մոդուլը, այնպես որ այդ երկու ուժերը նորից մոդուլով հավասար են և ուղղված են իրար հակառակ:

Դադարի շփման ուժը միշտ մոդուլով հավասար և ուղղությամբ հակադիր է այն ուժին, որը կիրառվում է մարմնի նկատմամբ՝ մեկ այլ մարմնի հետ նրա հպման մակերևույթին զուգահեռ:

Եթե շարունակենք մեծացնել չորսուի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժի մոդուլը, ապա վերջինիս որոշակի արժեքի դեպքում մարմինը «կպոկվի» տեղից և կսկսի սահել: Ուրեմն՝ գոյություն ունի դադարի շփման առավելագույն ուժ՝ $\vec{F}_{դ.max}$: Եվ միայն այն դեպքում, երբ մակերևույթին զուգահեռ $\vec{F}$ ուժը մոդուլով դառնում է թեկուզ մի փոքր ավելի, քան այդ շփման ուժը, մարմինը սկսում է շարժվել արագացմամբ:

Դադարի շփման ուժը հենց այն ուժն է, որը խանգարում է մեզ տեղից շարժել ծանր առարկաները՝ պահարանը, սեղանը, արկղը և այլն:

Բայց ինչու՞ է առարկայի ծանր լինելը կարևոր: Չէ՞ որ մենք այն դեպի վեր՝ ծանրության ուժին հակառակ չենք շարժում: Այս հարցին պատասխանում է փորձը:

Նկ. 72-ում պատկերված չորսուի վրա դնենք նույնպիսի մի չորսու (նկ. 73): Մենք, այդպիսով, կմեծացնենք մարմնի և պատվանդանի հպման մակերևույթին ուղղահայաց ազդող ուժը (մարմնի կողմից հենարանի մակերևույթին ուղղահայաց ազդող ուժը կոչվում է ***ճնշման ուժ***): Եթե այժմ կրկին չափենք դադարի շփման առավելագույն ուժը, այսինքն՝ այն ուժը, որն անհրաժեշտ է, որպեսզի մարմինը սկսի սահել, ապա կտեսնենք, որ այն մեծացել է 2 անգամ: Ճիշտ երկու անգամ մեծացել է ճնշման ուժը, երբ չորսուի վրա երկրորդ նույնպիսի չորսու է դրվել: Կրկնելով փորձը՝ կարող ենք եզրակացնել, որ $\vec{F}_{դ.max}$-ը համեմատական է ճնշման ուժին:

Ըստ Նյուտոնի երրորդ օրենքի՝ մարմնի կողմից հենարանի վրա ազդող ճնշման ուժը մոդուլով հավասար է հենարանի հակազդեցության ուժին: Ուստի դադարի շփման առավելագույն ուժն ուղիղ համեմատական է հենարանի հակազդեցության ուժին: Հետևաբար՝ այդ ուժերի մոդուլների համար կարելի է գրել՝

$$F_{դ.max} = \mu_դ N , \qquad (6.20)$$

որտեղ $\mu_դ$ մեծությունը կոչվում է ***դադարի շփման գործակից***:

Ինչպես մենք արդեն նշեցինք, դադարի շփման ուժն է, որ խանգարում է մեզ տեղից շարժել ծանր առարկաները: Բայց միշտ չէ, որ շփման ուժը խանգարում է շարժմանը: Շատ դեպքերում հենց դադարի շփման ուժն է շարժման առաջացման պատճառը: Օրինակ՝ ավտոմեքենան տեղից շարժվում է անիվների և գետնի միջև առաջացող դադարի շփման ուժի շնորհիվ: Եթե չլիներ դադարի շփման ուժը, անիվները

տեղապտույտ կկատարեին, իսկ ավտոմեքենան տեղից չէր շարժվի: Առանց դադարի շփման ուժի մարդիկ չէին կարող քայլել գետնի վրայով: Քայլելիս մենք ոտքերով հրվում ենք գետնից: Երբ կոշիկի ներբանի և գետնի միջև շփումը փոքր է, ինչպես սառցակալման դեպքում, ոտքերը սահում են, և քայլելը դժվարանում է:

Սահքի շփման ուժ: Չորսուին ամրացված ուժաչափը ձգենք այնպես, որ չորսուն հավասարաչափ շարժվի սեղանի հորիզոնական մակերևույթով: Այդ ժամանակ ուժաչափը ցույց է տալիս, որ չորսուի վրա զսպանակի կողմից ազդում է հաստատուն $\vec{F}$ առաձգականության ուժը: Հավասարաչափ շարժվող մարմնի վրա ազդող ուժերի գումարը հավասար է զրոյի: Հետևաբար, բացի առաձգականության ուժից, հորիզոնական ուղղությամբ մարմնի վրա ազդում է ևս մի ուժ, որը մոդուլով հավասար և ուղղությամբ հակադիր է առաձգականության ուժին: Այդ ուժը կոչվում է ***սահքի շփման ուժ*** $\vec{F}_ս$:

Սահքի շփման ուժը միշտ ուղղված է մարմնի շարժման արագության վեկտորին հակառակ ուղղությամբ: Այն արագացումը, որը մարմնին հաղորդում է սահքի շփման ուժը, նույնպես հակառակ է ուղղված նրա հարաբերական արագության ուղղությանը, այսինքն՝ սահքի շփման ուժը միշտ փոքրացնում է մարմնի հարաբերական արագությունը: Փորձով կարելի է համոզվել, որ սահքի շփման ուժն ուղիղ համեմատական է հենարանի հակազդեցության ուժին՝

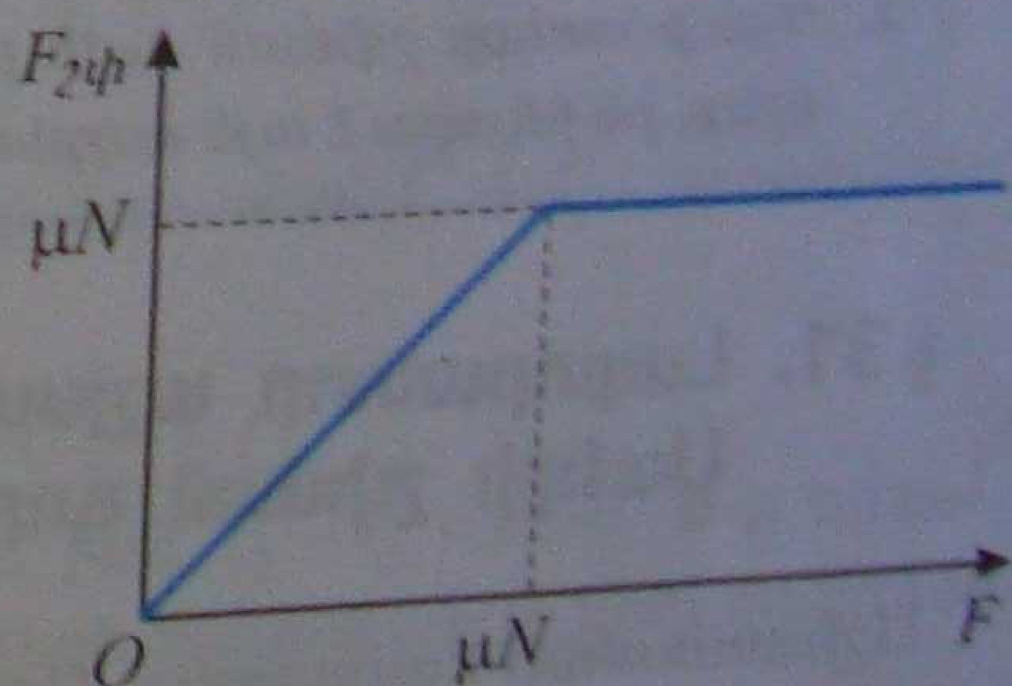
$$F_ս = \mu N, \qquad (6.21)$$

որտեղ μ մեծությունը կոչվում է ***սահքի շփման գործակից***:

Սահքի շփման գործակիցը որոշ չափով փոքր է դադարի շփման գործակցից: Դա է պատճառը, որ սովորաբար մարմինը տեղից «պոկելն» ավելի դժվար է, քան հետո այն հավասարաչափ շարժելը: Սակայն գործնական շատ հաշվարկներում դադարի և սահքի շփման գործակիցների չնչին տարբերությունն անտեսվում է: Այդ գործակիցները համարում են իրար հավասար և անվանում μ շփման գործակից: Այս դեպքում դադարի և սահքի շփման ուժերի համար կարող ենք գրել՝

$$F_դ = F, \text{ երբ } F \le F_{դ.max} = \mu N, \quad F_ս = \mu N: \qquad (6.22)$$

Նկ. 74-ում պատկերված է շփման ուժի $F_{շփ}$ մոդուլի կախումը մարմինների հպման մակերևույթին զուգահեռ ազդող ուժի F մոդուլից: Քանի դեռ F-ը փոքր է μN-ից, մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում, իսկ շփման ուժը մոդուլով հավասար է ազդող ուժին: F-ի աճին զուգընթաց աճում է նաև շփման ուժը: Երբ F-ը դառնում է մեծ μN-ից, շփման ուժը դադարում է կախված լինել F-ից և, ուժի հետագա մեծացումից անկախ, մնում է հաստատուն և հավասար μN-ի:



Նկ. 74

Շփման գործակիցը կախված է այն բանից, թե ինչ նյութերից են պատրաստված շփվող մարմինները, ինչպես են մշակված ու մաքրված նրանց մակերևույթները և գործնականորեն կախված չէ հպվող մակերևույթների մակերեսների մեծությունից:

Շփման ուժի դրսևորումներից մեկն էլ ***գլորման շփման ուժն*** է, որն ազդում է մակերևույթի կողմից նրա վրայով գլորվող մարմնի վրա: Փորձերը ցույց են տալիս, որ գլորման շփման ուժը շատ անգամ փոքր է սահքի շփման ուժից: Օրինակ՝ պողպատե

ռեսների վրայով գլորվելիս պողպատե անիվների վրա ազդող գլորման շփման ուժը մոտ 100 անգամ փոքր է սահքի շփման ուժից: Ուստի ամենատարբեր մեխանիզմներում և մեքենաներում սահքի շփումը փոխարինում են գլորման շփմամբ՝ օգտագործելով գնդիկավոր և հոլովակավոր առանցքակալներ:

Շփման ուժերն առաջանում են հպվող մարմինների մոլեկուլների (ատոմների) փոխազդեցության հետևանքով, որը պայմանավորված է նրանց կազմի մեջ մտնող էլեկտրական լիցքերի փոխազդեցությամբ: Ուստի շփման ուժերն էլեկտրամագնիսական բնույթ ունեն:

Հեղուկ և գազային միջավայրում պինդ մարմնի շարժման ժամանակ առաջանում են ուժեր, որոնք արգելակում են շարժումը: Այդ ուժերն անվանում են ***դիմադրության ուժեր***: Դիմադրության ուժի գլխավոր առանձնահատկությունը դադարի շփման բացակայությունն է: Հեղուկ կամ գազային միջավայրում գտնվող մարմինը կարելի է տեղաշարժել նույնիսկ ամենափոքր ուժով:

Դիմադրության ուժի մյուս առանձնահատկությունը նրա խիստ կախվածությունն է շարժման արագությունից: Փոքր արագությունների դեպքում դիմադրության ուժն ուղիղ համեմատական է արագությանը և ուղղված է նրան հակառակ՝ $\vec{F}_{դ} = -r\vec{v}$: Համեմատականության r գործակիցը կախված է միջավայրի հատկություններից, մարմնի ձևից և չափերից: Մեծ արագությունների դեպքում դիմադրության ուժը կտրուկ աճում է և համեմատական է դառնում արագության քառակուսուն, իսկ այնուհետև՝ ավելի բարձր աստիճաններին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում դադարի շփման ուժ:*
2. *Ինչի՞ է հավասար դադարի շփման ուժը, և ինչպե՞ս է այն ուղղված:*
3. *Դադարի շփման առավելագույն ուժն ինչպե՞ս է կախված ճնշման ուժից:*
4. *Գրե՛ք սահքի շփման ուժի բանաձևը և նշե՛ք, թե ինչպես է այն ուղղված:*
5. *Ի՞նչ գործոններից է կախված սահքի շփման գործակիցը:*
6. *Ի՞նչ բնույթի են դադարի և սահքի շփման ուժերը:*
7. *Որո՞նք են դիմադրության ուժի առանձնահատկությունները:*

§ 31. Լաբորատոր աշխատանք N4. Սահքի շփման գործակցի որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. Որոշել սահքի շփման գործակցի արժեքը:

Չափամիջոցներ. 1. ուժաչափ (0÷4Ն սանդղակով և 0,1Ն բաժանման արժեքով), 2. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. փայտե նեղ տախտակ, 2. փայտե չորսուներ, 3. 100 կամ 50 գրամանոց բեռների հավաքածու, 4. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Չորսուն տեղադրել թեքված փայտե նեղ տախտակի վրա:
2. Ուժաչափն ամրացնել չորսուին և, որքան հնարավոր է, հավասարաչափ կերպով այն ձգել թեք հարթությամբ դեպի վեր և նշել ուժաչափի ցուցմունքը (F):

3. Կշռել չորսուն (P):

4. Սահքի շփման գործակիցը որոշել դեպի վեր ծարժի հավասարաչափ շարժման (հավասարակշռության) պայմանից՝

$$F = P\sin\alpha + \mu P\cos\alpha ,$$

$$\mu = \frac{F - P\sin\alpha}{P\cos\alpha},$$

որտեղ $\sin\alpha = h/l$, $\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha}$ (h-ը թեք տախտակի բարձրությունն է, իսկ l-ը՝ երկարությունը):

5. Թեքելով տախտակը և չորսուի վրա ավելացնելով բեռներ և ապա կշռելով բեռներով չորսուն՝ ստանալ շփման գործակցի տարբեր փորձերի արժեքները, որոնց թվաբանական միջինը կլինի շփման գործակցի փորձարարական արժեքը:

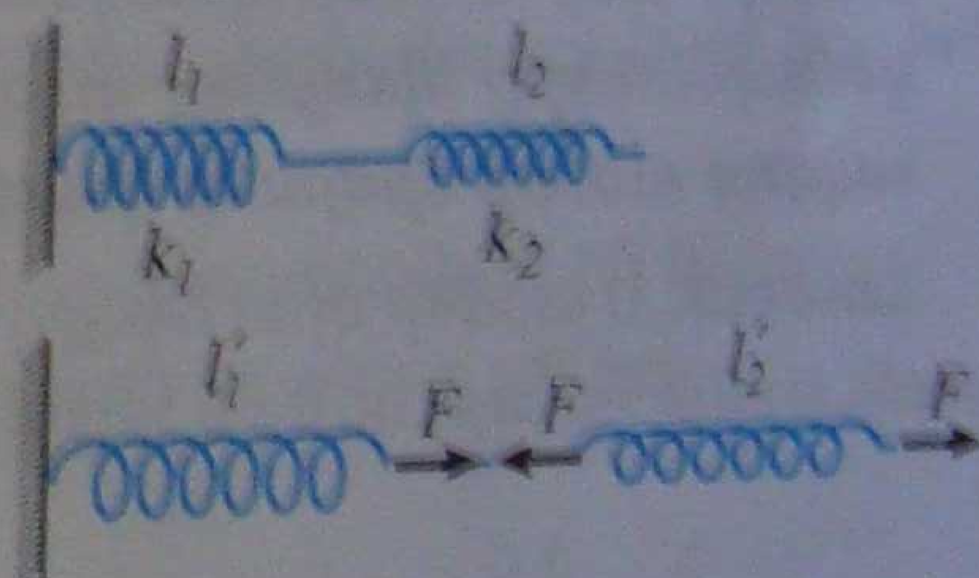
6. Չափման արդյունքներով լրացնել աղյուսակը.

Փորձի համարը	F, Ն	P, Ն	μ

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***k_1 և k_2 կոշտությամբ երկու զսպանակներ միացված են հաջորդաբար, ինչպես ցույց է տրված նկարում: Որոշել ստացված միացյալ զսպանակի կոշտությունը:***

Լուծում: Ստացված զսպանակի k կոշտությունը որոշելու համար նրա մի ծայրն ամրացնենք պատից և մյուս ծայրից ձգենք որևէ F ուժով: Զսպանակներից յուրաքանչյուրի երկարությունը չդեֆորմացված վիճակում նշանակենք l_1 և l_2: Միացյալ զսպանակի երկարությունը կլինի $l_1 + l_2$: Ենթադրենք՝ ձգելու հետևանքով I զսպանակի երկարությունը դարձել է l'_1, II-ինը՝ l'_2: Միացյալ զսպանակի երկարությունը կդառնա $l'_1 + l'_2$, ուստի նրա երկարացումը կլինի՝



$$x = l'_1 + l'_2 - (l_1 + l_2) = (l'_1 - l_1) + (l'_2 - l_2) :$$

Բայց $l'_1 - l_1 = x_1$-ը I զսպանակի երկարացումն է, իսկ $l'_2 - l_2 = x_2$-ը՝ II-ի երկարացումը: Ուրեմն՝ հաջորդաբար միացված զսպանակների համակարգի երկարացումը հավասար է առանձին զսպանակների երկարացումների գումարին՝

$$x = x_1 + x_2 :$$

II զսպանակի վրա աջ կողմից ազդում է F ուժը: Երբ այն գտնվում է հավասարակշռության վիճակում, ապա նույն մոդուլով ու հակառակ ուղղությամբ պետք է ազդի նրա ձախ ծայրին: Այսպիսի ուժով II զսպանակի վրա ազդում է I զսպանակը, որեմն, Նյուտոնի երրորդ օրենքի համաձայն, II զսպանակն էլ ձգում է I-ին նույնպիսի F ուժով: Ստացվում է, որ հաջորդական միացման դեպքում միացյալ զսպանակի և առանձին զսպանակների վրա ազդող ուժերն իրար հավասար են.

$$F = F_1 = F_2 :$$

Հուկի օրենքը կիրառենք զսպանակներից յուրաքանչյուրի համար. $F = kx$, $F_1 = k_1x_1$, $F_2 = k_2x_2$, որտեղից, հաշվի առնելով $F = F_1 = F_2$ առնչությունը, զսպանակների երկա-բաղումների համար կունենանք՝ $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$ կամ $k = k_1k_2/(k_1 + k_2)$:

2. k_1 և k_2 կոշտությամբ երկու զսպանակներ միացված են զուգահեռաբար, ինչպես ցույց է տրված նկարում: Որոշել ստացված զսպանակի կոշտությունը:



Լուծում: Նկարից պարզ երևում է, որ զուգահեռ միացման դեպքում, երբ միայնակ զսպանակը երկարում է x -ով, զսպանակներից յուրաքանչյուրը նույնպես երկարում է x -ով՝

$$x_1 = x_2 = x :$$

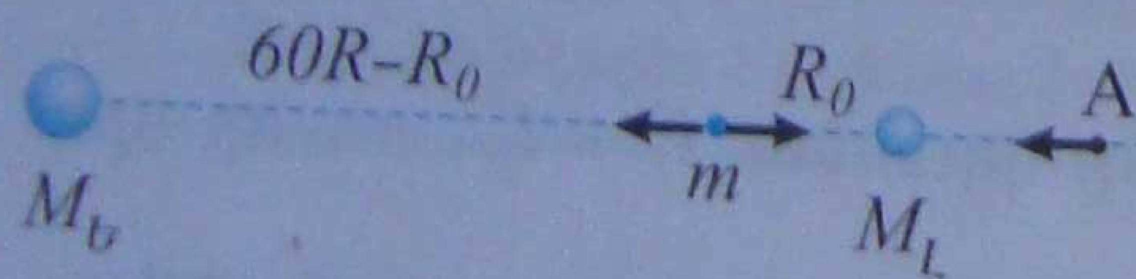
A գնդի վրա ազդում է երեք ուժ՝ F ուժը դեպի ներքև և զսպանակների կողմից ազդող F_1 և F_2 ուժերը՝ դեպի վերև: Գնդի հավասարակշռության պայմանից՝

$$F = F_1 + F_2 :$$

Եթե գնդի վրա զսպանակները ազդում են F_1 և F_2 ուժերով, ապա, Նյուտոնի երրորդ օրենքի համաձայն, այդ գունդը զսպանակների վրա ազդում է նույն մոդուլով և հակառակ ուղղված ուժերով: Հուկի օրենքից՝ $F = kx$, $F_1 = k_1x$, $F_2 = k_2x$, ուստի՝ $kx = k_1x + k_2x$, որտեղից՝ $k = k_1 + k_2$:

3. Երկրի և Լուսնի կենտրոնների հեռավորությունը հավասար է 60 երկրային շառավղի, իսկ Լուսնի զանգվածը 81 անգամ փոքր է Երկրի զանգվածից: Նրանց կենտրոնները միացնող ուղղի ո՞ր կետում մարմնի վրա Երկրի և Լուսնի կողմից ազդող ուժերը միմյանց կհամակշռեն:

Լուծում: Մարմնի վրա Երկրի և Լուսնի կողմից ազդող ուժերը պատկերված են նկարում: Քանի որ այդ ուժերն ուղղված են միմյանց հակադիր, ապա դրանք իրար կհամակշռեն, եթե դրանց մոդուլներն իրար հավասար լինեն: Մարմնի զանգվածը նշանակենք m -ով, իսկ հեռավորությունը Լուսնից՝ R_0-ով, այդ դեպքում մարմնի հեռավորությունը Երկրից հավասար կլինի $60R - R_0$, որտեղ R -ը Երկրի շառավիղն է: Օգտվելով տիեզերական ձգողության օրենքից՝ կարող ենք գրել՝

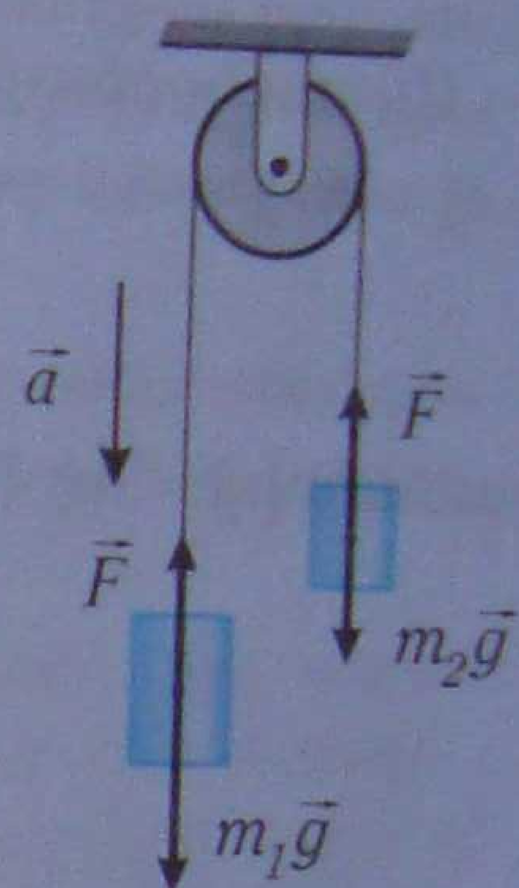


$$G\frac{mM_Ե}{(60R - R_0)^2} = G\frac{mM_L}{R_0^2} :$$

Նկատի ունենալով $M_Ե = 81M_L$ պայմանը՝ կստանանք՝ $60R - R_0 = \pm 9R_0$ կամ $R_0 = 6R$: Հետաքրքիր է նշել, որ մյուս լուծումը՝ $R_0 = -7{,}5R$, համապատասխանում է Լուսնից աջ գտնվող A կետին, որտեղ Երկրի և Լուսնի կողմից մարմնի վրա ազդող ուժերը մոդուլներով հավասար են, սակայն ունեն նույն ուղղությունը, ուստի այդ կետում մարմինը չի կարող գտնվել հավասարակշռության վիճակում:

4. ***Անշարժ ճախարակի վրայով գցած թելի ծայրերից կախված են m_1 և m_2 զանգվածներ ունեցող բեռներ, ընդ որում $m_1 > m_2$: Գտնել բեռների արագացումները: Թելի ու ճախարակի զանգվածները և շփման ուժերն անտեսել:***

Լուծում: Եթե մարմինների համակարգը թողնենք ինքնիրեն, ապա m_1 զանգվածով բեռը կշարժվի դեպի ներքև, իսկ m_2 զանգվածովը՝ դեպի վերև: Եթե թելը չձգվող է, ապա ինչքան ներքև իջնի առաջին բեռը, նույնքան վերև կբարձրանա երկրորդը: Սա նշանակում է, որ ցանկացած ժամանակ հետո բեռներն անցնում են հավասար ճանապարհներ: Դա հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ նրանց արագացումների մոդուլներն իրար հավասար են: Ուրեմն, եթե I բեռի արագացումը նշանակենք $\vec{a}$, ապա II-ի արագացումը կլինի $-\vec{a}$: Բեռներից յուրաքանչյուրի վրա դեպի վեր ազդում է թելի $\vec{F}$ ձգվածության ուժը, դեպի վար՝ ծանրության ուժը: Յուրաքանչյուր բեռի համար գրենք Նյուտոնի երկրորդ օրենքի հավասարումը՝



$$m_1\vec{a}=m_1\vec{g}+\vec{F}, \qquad -m_2\vec{a}=\vec{F}+m_2\vec{g}:$$

Գրված հավասարումների երկու կողմերն իրարից հանելով՝ կստանանք՝

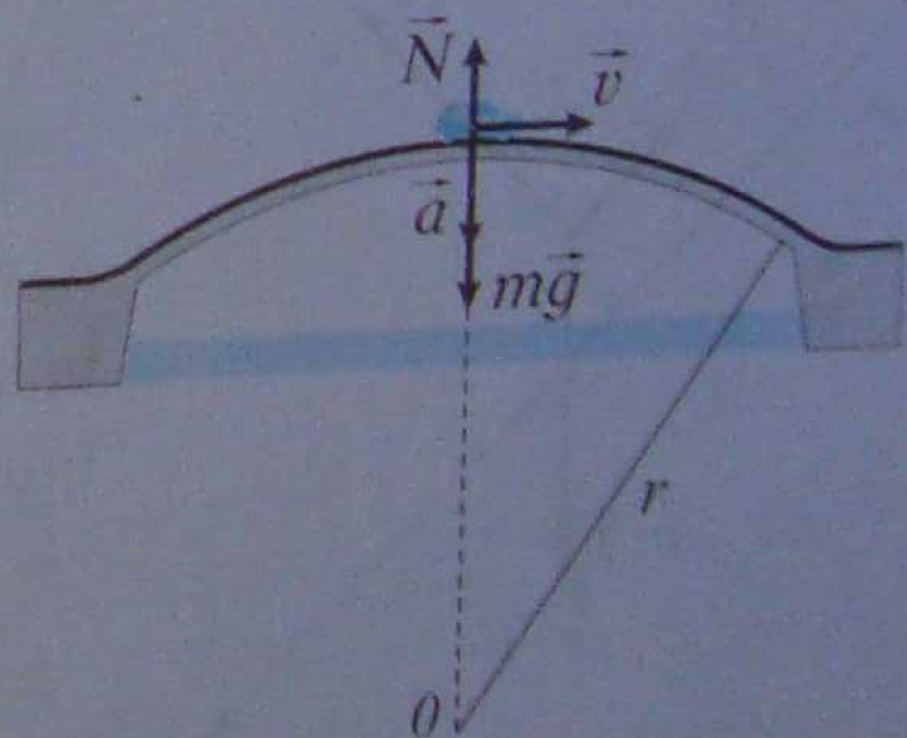
$$(m_1+m_2)\vec{a}=(m_1-m_2)\vec{g},$$

որտեղից՝

$$\vec{a}=\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\vec{g}:$$

5. ***Որքա՞ն է փոքրանում ավտոմեքենայի կշիռն ուռուցիկ կամրջի վերին կետում, եթե կամրջի կորության շառավիղը 100 մ է, մեքենայի զանգվածը՝ 2000 կգ, իսկ շարժման արագությունը՝ 20մ/վ:***

Լուծում: Շարժվող ավտոմեքենայի վրա ազդող ուժերը պատկերված են նկարում: Նյուտոնի երկրորդ օրենքն ավտոմեքենայի համար ունի հետևյալ տեսքը՝



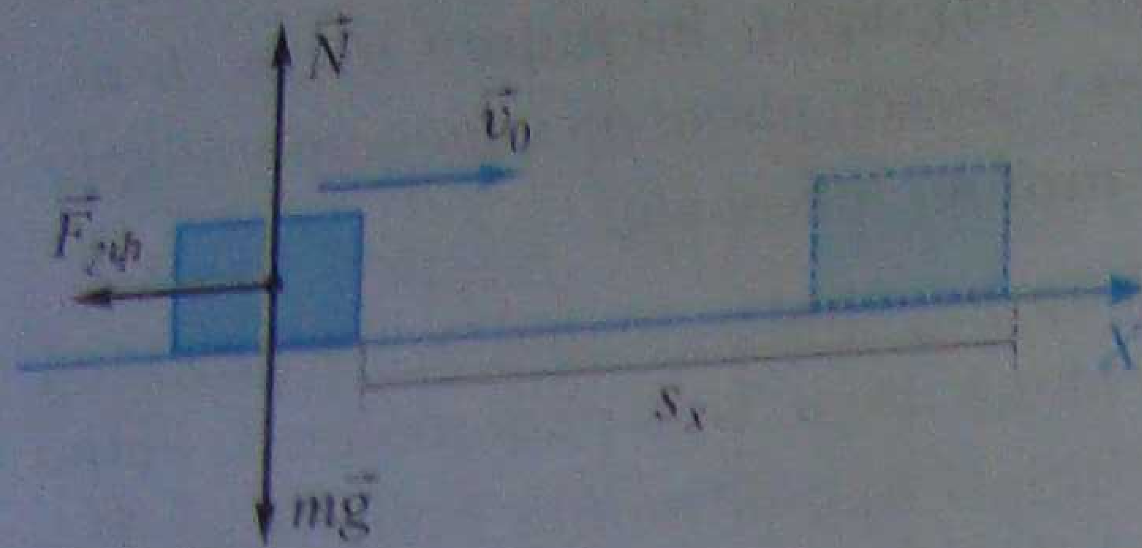
$$\frac{mv^2}{r}=mg-N,$$

որտեղ v-ն մարմնի արագությունն է կամրջի կենտրոնում: Քանի որ դադարի վիճակում գտնվող մեքենայի կշիռը հավասար է mg ծանրության ուժին, ապա ավտոմեքենայի կշռի նվազումը՝

$$\Delta P=\frac{mv^2}{r}=8000 \text{ Ն}:$$

6. ***Շարժիչն անջատելուց հետո ի՞նչ հեռավորություն կանցնի 10 մ/վ արագությամբ շարժվող ավտոմեքենան մինչև կանգ առնելը: Ավտոմեքենայի անիվների և ճանապարհի միջև շփման գործակիցը 0,04 է:***

Լուծում: Մարմնի վրա ազդող ուժերը և կոորդինատային առանցքները պատկերված են նկարում: Մարմնի շարժման նկարագրության կոորդինատային եղանակի դեպքում Նյուտոնի երկրորդ օրենքն ունի հետևյալ տեսքը՝



$$F_x = ma_x, \quad F_y = ma_y,$$

որտեղ F_x-ը և F_y-ը մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերի պրոյեկցիաների գումարներն են համապատասխանաբար X և Y առանցքների վրա: Ուրեմն՝

$$N_x + F_{շփx} + mg_x = ma_x,$$

$$N_y + F_{շփy} + mg_y = ma_y:$$

Հաշվի առնելով, որ $N_x = 0$, $mg_x = 0$, $F_{շփx} = -\mu N$, $N_y = N$, $mg_y = -mg$, $F_{շփy} = 0$, և այն հանգամանքը, որ մարմինը շարժվում է X առանցքով, ուստի $a_y = 0$, կստանանք՝

$$-\mu N = ma_x, \quad N - mg = 0:$$

Երկրորդ հավասարումից՝ $N = mg$: Տեղադրելով առաջինի մեջ՝ կստանանք՝

$$a_x = -\mu g:$$

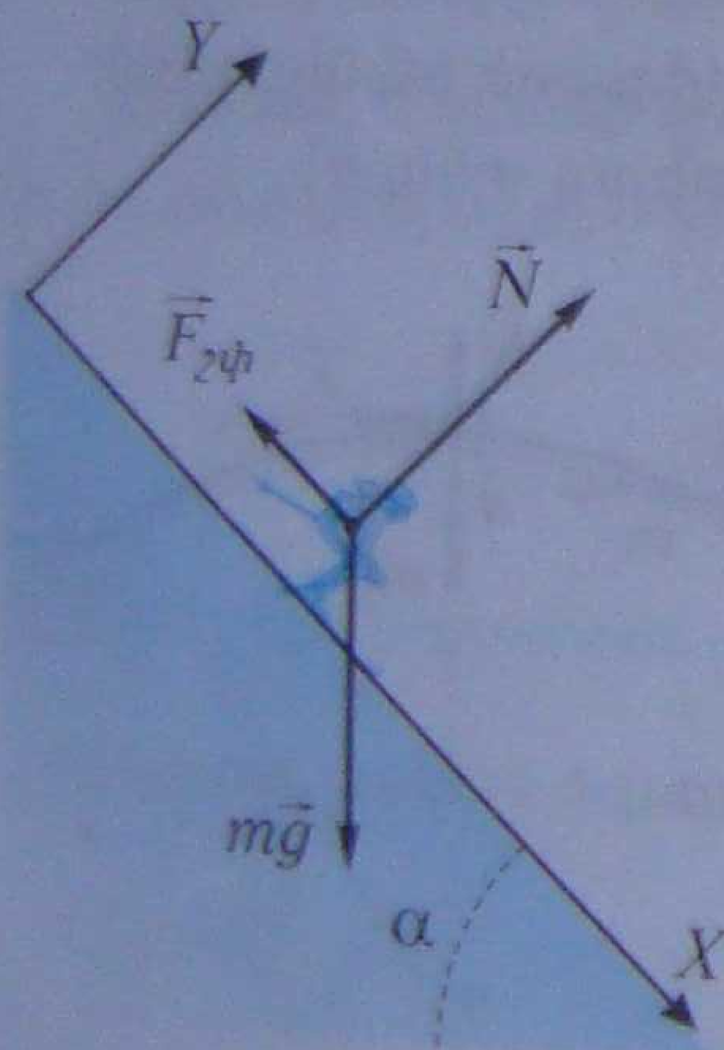
Ավտոմեքենայի s_x տեղափոխությունը կորոշենք

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

բանաձևից: Հաշվի առնելով, որ $v_{0x} = v_0$ և որ կանգ առնելու պահին $v_x = 0$, կստանանք՝

$$s_x = -\frac{v_{0x}^2}{2a_x} = \frac{v_0^2}{2\mu g} \approx 127{,}6 \text{ մ}:$$

7. *Դահուկորդը սկսում է սահել $l = 50$ մ երկարություն ունեցող թեք հարթությամբ, որը հորիզոնի հետ կազմում է $\alpha = 45°$ անկյուն: Ինչքա՞ն կտևի վայրէջքը, եթե շփման գործակիցը 0,2 է:*



Լուծում: Դահուկորդի վրա ազդող ուժերը պատկերված են նկարում: Օգտվենք Նյուտոնի երկրորդ օրենքի սկալյար տեսքից՝

$$F_x = ma_x, \quad F_y = ma_y:$$

Նկատենք, որ $mg_x = mg\sin\alpha$, $mg_y = -mg\cos\alpha$, $N_x = 0$, $N_y = N$, $F_{շփx} = -\mu N$, $F_{շփy} = 0$, $a_y = 0$ և $a_x = a$, ուստի Նյուտոնի երկրորդ օրենքն արտահայտող հավասարումների համակարգը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով՝

$$mg\sin\alpha - \mu N = ma, \quad N - mg\cos\alpha = 0:$$

Համատեղ լուծելով հավասարումների համակարգը՝ կստանանք՝ $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$:

Առանց սկզբնական արագության շարժման դեպքում t ժամանակում մարմնի անցած ճանապարհը հավասար է՝ $s = at^2/2$, որտեղից՝ $t = \sqrt{2s/a}$:

Վայրէջքի ընթացքում դահուկորդի անցած ճանապարհը հավասար է l-ի, ուստի՝

$$t = \sqrt{\frac{2l}{g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}} \approx 4 \text{ վ}:$$

Խնդիրներ

1. Վերին ծայրն ամրացված ուղղաձիգ զսպանակից կախված է 0,1 կգ զանգվածով ծանրոց: Ծանրոցի տատանումները դադարելուց հետո պարզվեց, որ զսպանակը երկարել է 2 սմ-ով: Ի՞նչ կոշտություն ունի զսպանակը:

2. Երկու միանման սայլակներ, որոնցից յուրաքանչյուրի զանգվածը 100 գ է, իրար են միացվել սեղմված զսպանակով: Զսպանակի երկարությունը (սեղմված վիճակում) 6 սմ է: Զսպանակի կոշտությունը 30 Ն/մ է: Երբ սեղմված զսպանակը բացվեց, սայլակները «հեռացան» 6 մ/վ^2 արագացմամբ: Գտնել չդեֆորմացված զսպանակի երկարությունը:

3. Ինչպե՞ս կփոխվի երկու գնդերի ձգողության ուժը, եթե նրանց հեռավորությունը մեծացնենք երկու անգամ:

4. Երկրի վրա գտնվող մարմինները ձգում են միմյանց: Ինչո՞ւ մենք դա չենք նկատում:

5. Քանի՞ անգամ է Երկրի մակերևույթին մոտ մարմնի վրա ազդող գրավիտացիոն ուժը մեծ մակերևույթից Երկրի շառավղի կեսին հավասար բարձրության վրա գտնվող նույնպիսի մարմնի վրա ազդող գրավիտացիոն ուժից:

6. Երկրի մակերևույթից ի՞նչ հեռավորության վրա տիեզերական ձգողության ուժը կդառնա 100 անգամ ավելի փոքր, քան մակերևույթին:

7. Հանքահորի վերելակի հատակին 100 կգ զանգվածով բեռ է դրված: Ինչքա՞ն կլինի այդ բեռի կշիռը, եթե վերելակը՝ ա) բարձրանա ուղղաձիգ ուղղությամբ 0,3 մ/վ^2 արագացմամբ, բ) շարժվի հավասարաչափ, գ) իջնի 0,4 մ/վ^2 արագացմամբ, դ) կատարի ազատ անկում:

8. Հաշվել Երկրի մակերևույթից նրա շառավղին հավասար բարձրության վրա Երկրի շուրջը պտտվող տիեզերանավի արագությունը:

9. Հաշվել Երկրից 300 կմ բարձրության վրա գտնվող արբանյակի պտտման պարբերությունը:

10. 120 կգ զանգվածով բեռը, որը տեղավորված է դեպի վեր շարժվող վերելակի հատակին, վերջինիս վրա ճնշում է 1440 Ն ուժով: Որոշել վերելակի արագացման բացարձակ արժեքը:

11. Ճոպանից կախված սկզբնական արագություն չունեցող 2 կգ զանգվածով բեռը հաստատուն արագացմամբ իջնում է հանքահորի մեջ: Որոշել բեռի կշիռը, եթե շարժման սկզբից 3 վ հետո բեռն անցել է 18 մ ճանապարհ:

ԳԼՈՒԽ 6-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Բնության մեջ հայտնի բոլոր ուժերը չորս տեսակի փոխազդեցությունների դրսևորումներ են՝ գրավիտացիոն, էլեկտրամագնիսական, միջուկային և թույլ: Մեխանիկայում դիտարկվող բոլոր ուժերը երկու տեսակի՝ գրավիտացիոն և էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունների դրսևորումներ են:

2. Առաձգականության ուժն առաջանում է մարմնի դեֆորմացման ժամանակ, այն ուղղված է դեֆորմացիայի ուղղությանը հակառակ, և նրա մոդուլը որոշվում է Հուկի օրենքով:

3. Գրավիտացիոն փոխազդեցության դրսևորում է տիեզերական ձգողության ուժը: Այդ ուժով փոխազդում են ցանկացած երկու մարմիններ: Համաձայն տիեզերական

ձգողության օրենքի՝ m_1 և m_2 զանգվածներով գնդերը, որոնց կենտրոնների հեռավորությունը r է, միմյանց ձգում են մի ուժով, որն ուղղված է գնդերի կենտրոնները միացնող ուղղով և որի մոդուլը որոշվում է

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

բանաձևով, որտեղ G-ն գրավիտացիոն հաստատունն է:

4. Երկրի կողմից մարմինների վրա ազդող ուժն անվանում են ծանրության ուժ: Այն հավասար է mg-ի և կարող է համարվել հաստատուն, եթե մարմինների հեռավորությունները Երկրի մակերևույթից նրա շառավղի համեմատությամբ շատ փոքր են:

5. Շփման ուժերն առաջանում են հպվող մակերևույթների միջև և խոչընդոտում են մարմինների հարաբերական շարժմանը:

6. Սահքի շփման ուժը կախված է հպվող մարմինների նյութի տեսակից, նրանց հղկվածության աստիճանից և ճնշման ուժից՝ $F_s = \mu N$, որտեղ μ-ն շփման գործակիցն է, N-ը՝ հենարանի հակազդեցության ուժը:

7. Դադարի շփման ուժը մոդուլով հավասար է և ուղղությամբ հակադիր է մարմնի վրա հենարանի մակերևույթին զուգահեռ ազդող ուժին: Դադարի շփման առավելագույն ուժը հավասար է սահքի շփման ուժին:

8. Բնության ուժերի իմացությունը հնարավորություն է տալիս գտնելու մարմնի արագացումը, այնուհետև գլուխ 4-ում նկարագրված «շրջադարձ» կատարելու մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծմանը:

ձգողության օրենքի` m_1 և m_2 զանգվածներով գնդերը, որոնց կենտրոնների հեռավորությունը r է, միմյանց ձգում են մի ուժով, որն ուղղված է գնդերի կենտրոնները միացնող ուղղով և որի մոդուլը որոշվում է

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

բանաձևով, որտեղ G -ն գրավիտացիոն հաստատունն է:

4. Երկրի կողմից մարմինների վրա ազդող ուժն անվանում են ծանրության ուժ: Այն հավասար է mg-ի և կարող է համարվել հաստատուն, եթե մարմինների հեռավորությունները Երկրի մակերևույթից նրա շառավղի համեմատությամբ շատ փոքր են:

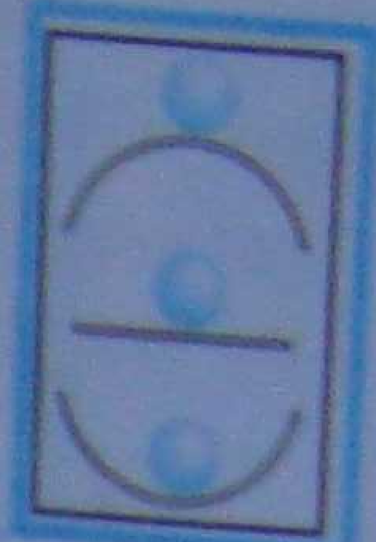
5. Շփման ուժերն առաջանում են հպվող մակերևույթների միջև և խոչընդոտում են մարմինների հարաբերական շարժմանը:

6. Սահքի շփման ուժը կախված է հպվող մարմինների նյութի տեսակից, նրանց հղկվածության աստիճանից և ճնշման ուժից` $F_{sh} = \mu N$, որտեղ $\mu$-ն շփման գործակիցն է, $N$ -ը` հենարանի հակազդեցության ուժը:

7. Դադարի շփման ուժը մոդուլով հավասար և ուղղությամբ հակադիր է մարմնի վրա` հենարանի մակերևույթին զուգահեռ ազդող ուժին: Դադարի շփման առավելագույն ուժը հավասար է սահքի շփման ուժին:

8. Բնության ուժերի իմացությունը հնարավորություն է տալիս գտնելու մարմնի արագացումը, այնուհետև գլուխ 4-ում նկարագրված «շղթայով» հասնելու մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծմանը:

7 ՍՏԱՏԻԿԱՅԻ ՏԱՐՐԵՐԸ



Ներածություն

Ի՞նչ է ուսումնասիրում ստատիկան: Դինամիկայի օրենքների իմացությունը հնարավորություն է տալիս գտնելու մարմինների շարժման արագացումները, երբ նրանց վրա ուժեր են ազդում:

Բայց շատ հաճախ կարևոր է իմանալ, թե ինչ պայմաններում մարմինները զանազան ուժերի ազդեցությամբ արագացում չեն ստանում: Այդպիսի մարմինների մասին ասում են, որ նրանք գտնվում են հավասարակշռության վիճակում: Հավասարակշռության մեջ են գտնվում ինչպես հաստատուն արագությամբ շարժվող, այնպես էլ դադարի վիճակում գտնվող մարմինները:

Մարմինները դադարի վիճակում պահելու համար անհրաժեշտ պայմաններն իմանալը գործնականում շատ կարևոր է, օրինակ, շենքեր, կամուրջներ, ամեն տեսակի հենարաններ, կախոցներ կառուցելիս, մեքենաներ, սարքեր պատրաստելիս և այլն:

Մեխանիկայի այն բաժինը, որն ուսումնասիրում է պինդ մարմնի հավասարակշռությունը, կոչվում է ***ստատիկա*** (հունարեն «ստատոս»՝ կանգնած բառից):

Ստատիկայի ուսումնասիրությունները հանգում են հետևյալ երկու տիպի խնդիրների լուծմանը:

1. Պինդ մարմնի վրա ազդող ուժերի համակարգի փոխարինումը դրան համարժեք մեկ ուժով կամ ուժերի պարզագույն համակարգով:

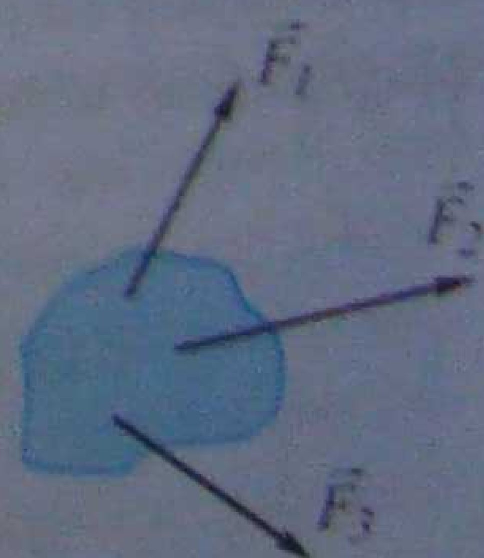
2. Պինդ մարմնի հավասարակշռության պայմանների որոշումը:

Քննության առնենք այս խնդիրներն առանձին-առանձին:

§ 32. Ուժերի համազոր: Ուժի մոմենտ

Դիցուք՝ բացարձակ պինդ մարմնի վրա ազդում են մի քանի ուժեր (նկ. 75): Եթե այդ ուժերի համակարգը հնարավոր է փոխարինել մեկ ուժով, որը մարմնի շարժման վրա թողնում է նույն ազդեցությունը, ինչ որ բոլոր ուժերը միասին, ապա այդ ուժը կոչվում է ուժերի համակարգի ***համազոր***:

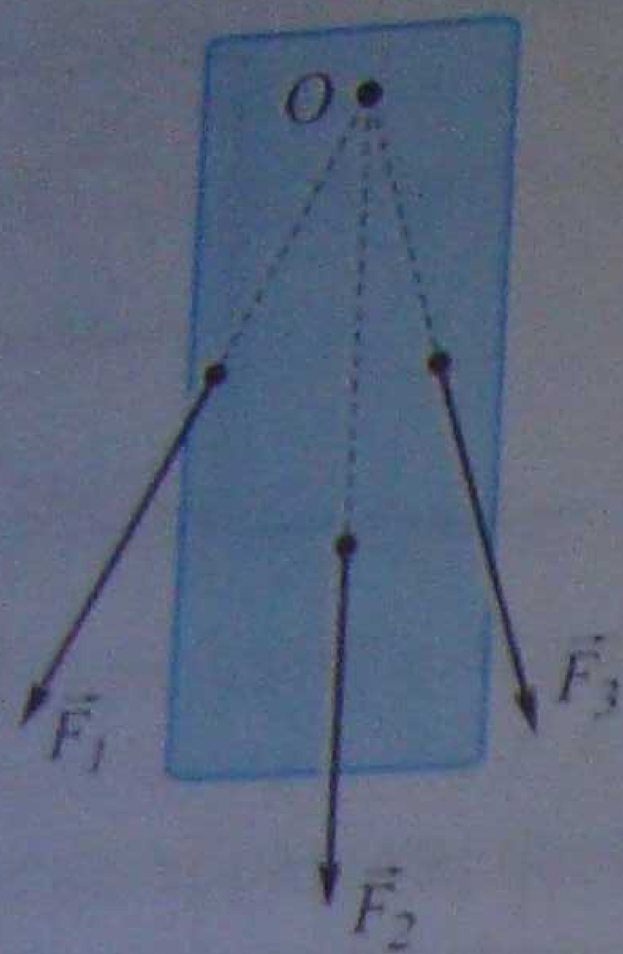
«Դինամիկա» բաժնում մենք ծանոթացել ենք ուժի երկու տիպի ազդեցությունների: Նախ՝ մարմնի վրա ազդող ուժը կարող է առաջ բերել դեֆորմացիա: Քանի որ այս բաժնում ուսումնասիրվում է բացարձակ պինդ, այսինքն՝ չդեֆորմացվող մարմնի հավասարակշռությունը, ապա ուժի այս ազդեցությունը քննության չենք առնի: Ուժի մյուս ազդեցությունն այն է, որ ուժն առաջ է բերում համընթաց շարժման արագացում:



Նկ. 75

Բացի համընթաց արագացող շարժումից, ուժը կարող է մարմնին հաղորդել նաև պտտական շարժում: Ուժի պտտական ազդեցությունն ուսումնասիրելու համար դիտարկենք այնպիսի մարմին, որը

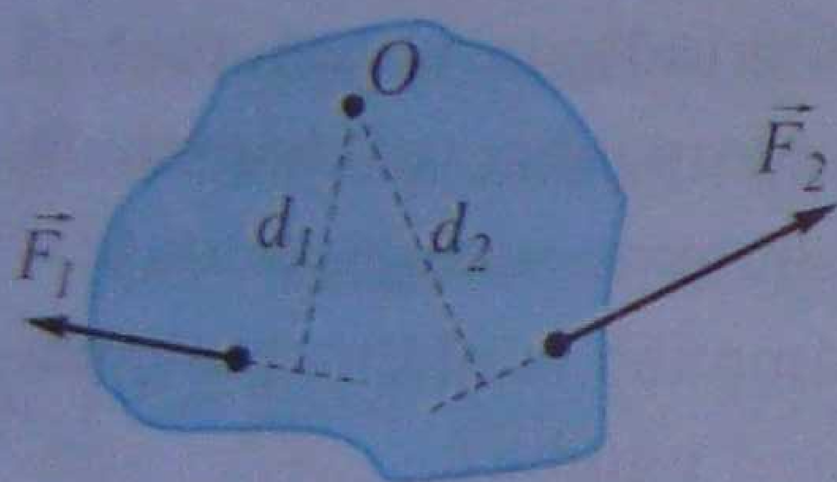
համընթաց շարժվելու հնարավորություն չունի: Մարմնի համընթաց շարժումը բացառելու համար բավական է այն ամրացնել մի կետում, ինչպես, օրինակ, տախտակն են մի բացենով ամրացնում պատին (նկ. 76): Այդ «գամված» տախտակը համընթաց շարժվել չի կարող, բայց այն կարող է պտտվել մեխի շուրջը, որը նրա համար ***սևեռված պտտման առանցք*** է հանդիսանում: Այդ առանցքն ուղղահայաց է գծագրի հարթությանը:



Նկ. 76

Փորձերը ցույց են տալիս, որ եթե տախտակի վրա ազդենք այնպիսի ուժերով, որոնց շարունակություններն անցնում են պտտման առանցքով, ապա տախտակի պտույտ չի առաջանում: Նկ. 76-ում պատկերված $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ և $\vec{F}_3$ ուժերի ազդման գծերն անցնում են պտտման առանցքով, և դրանք չեն կարողանում պտտել մարմինը: Ցանկացած այդպիսի ուժ հավասարակշռվում է սևեռված առանցքի (մեխի) հակազդեցության ուժով:

Պտույտ կարող են առաջացնել միայն այն ուժերը, որոնց ազդեցության գծերը չեն անցնում պտտման առանցքով: Օրինակ՝ $\vec{F}_1$ ուժը, որը մարմնի նկատմամբ կիրառված է այնպես, ինչպես ցույց է տրված նկ. 77-ում, այլ ուժերի բացակայության դեպքում կստիպի մարմնին պտտվել ժամսլաքի ուղղությամբ (պտտման առանցքն ուղղահայաց է գծագրի հարթությանը և անցնում է O կետով): Եթե մարմնի վրա ազդի միայն $\vec{F}_2$ ուժը, ապա այն կառաջացնի պտույտ ժամսլաքին հակառակ ուղղությամբ:



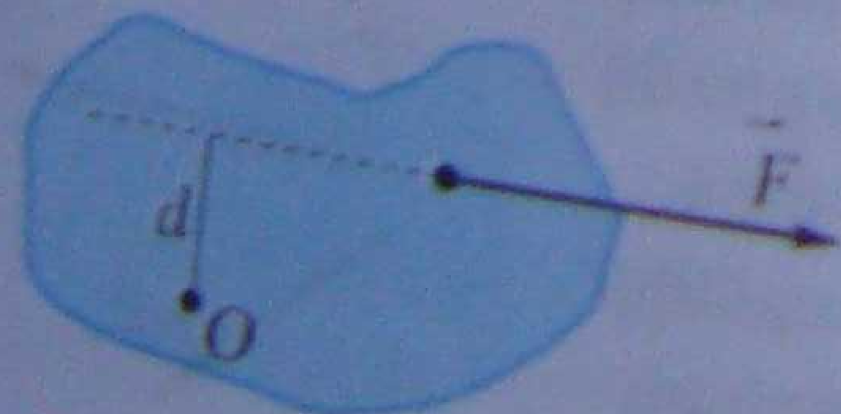
Նկ. 77

Հնարավոր է, որ $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ տարբեր ուժերի համատեղ ազդեցության արդյունքում պտույտ չառաջանա: Ուրեմն՝ իրարից տարբեր այդ երկու ուժերն ունեն հավասար և հակադիր «պտտական ազդեցություններ»:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ տարբեր ուժերի համատեղ ազդեցությունը պտույտ չի առաջացնում այն դեպքում, երբ նույնն է յուրաքանչյուր ուժի մոդուլի և պտտման առանցքից այդ ուժի ազդման գծի հեռավորության արտադրյալը: Եթե այդ հեռավորությունները նշանակենք d_1-ով և d_2-ով, ապա պտույտ չառաջանալու պայմանը կգրվի այսպես՝

$$F_1 d_1 = F_2 d_2 :$$

Ուժի մոմենտ: Այսպիսով՝ սևեռված առանցքով մարմնի հավասարակշռության համար էականը ոչ թե ուժի մոդուլն է, այլ ուժի մոդուլի և առանցքից այդ ուժի ազդման գծի հեռավորության արտադրյալը (նկ. 78, ենթադրվում է, որ ուժը գտնվում է առանցքին ուղղահայաց հարթության մեջ): *d* հեռավորությունը կոչվում է ***ուժի բազուկ***: Այն սկալյար ***ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է $\vec{F}$ ուժի մոդուլի և նրա d բազկի արտադրյալին, կոչվում է պտտող մոմենտ կամ ուժի մոմենտ՝ պտտման առանցքի նկատմամբ՝***



Նկ. 78

$$M = F \cdot d : \qquad (7.1)$$

Մարմինը ժամսլաքի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ պտտող ուժի մոմենտին ընդունված է վերագրել դրական,

համընթաց շարժվելու հնարավորություն չունի: Մարմնի համընթաց շարժվելը բացառելու համար բավական է այն ամրացնել մի կետում, ինչպես, օրինակ, տախտակն են մի բացնել մի կետում, ինչպես, օրինակ, տախտակն են մի մեխով ամրացնում պատին (նկ. 76): Այդ «գամված» տախտակը համընթաց շարժվել չի կարող, բայց այն կարող է պտտվել մեխի շուրջը, որը նրա համար ***սևեռված պտտման առանցք*** է հանդիսանում: Այդ առանցքն ուղղահայաց է գծագրի հարթությանը:

Նկ. 76

Փորձերը ցույց են տալիս, որ եթե տախտակի վրա ազդենք այնպիսի ուժերով, որոնց շարունակություններն անցնում են պտտման առանցքով, ապա տախտակի պտույտ չի առաջանում: Նկ. 76-ում պատկերված $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ և $\vec{F}_3$ ուժերի ազդման գծերն անցնում են պտտման առանցքով, և դրանք չեն կարողանում պտտել մարմինը: Յանկացած այդպիսի ուժ հավասարակշռվում է սևեռված առանցքի (մեխի) հակազդեցության ուժով:

Պտույտ կարող են առաջացնել միայն այն ուժերը, որոնց ազդեցության գծերը չեն անցնում պտտման առանցքով: Օրինակ՝ $\vec{F}_1$ ուժը, որը մարմնի նկատմամբ կիրառված է այնպես, ինչպես ցույց է տրված նկ. 77-ում, այլ ուժերի բացակայության դեպքում կստիպի մարմնին պտտվել ժամսլաքի ուղղությամբ (պտտման առանցքն ուղղահայաց է գծագրի հարթությանը և անցնում է O կետով): Եթե մարմնի վրա ազդի միայն $\vec{F}_2$ ուժը, ապա այն կառաջացնի պտույտ ժամսլաքին հակառակ ուղղությամբ:

Նկ. 77

Հնարավոր է, որ $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ տարբեր ուժերի համատեղ ազդեցության արդյունքում պտույտ չառաջանա: Ուրեմն՝ իրարից տարբեր այդ երկու ուժերն ունեն հավասար և հակադիր «պտտական ազդեցություններ»:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ տարբեր ուժերի համատեղ ազդեցությունը պտույտ չի առաջացնում այն դեպքում, երբ նույնն է յուրաքանչյուր ուժի մոդուլի և պտտման առանցքից այդ ուժի ազդման գծի հեռավորության արտադրյալը: Եթե այդ հեռավորությունները նշանակենք d_1-ով և d_2-ով, ապա պտույտ չառաջանալու պայմանը կգրվի այսպես՝

$$F_1 d_1 = F_2 d_2 :$$

Ուժի մոմենտ: Այսպիսով՝ սևեռված առանցքով մարմնի հավասարակշռության համար էականը ոչ թե ուժի մոդուլն է, այլ ուժի մոդուլի և առանցքից այդ ուժի ազդման գծի հեռավորության արտադրյալը (նկ. 78, ենթադրվում է, որ ուժը գտնվում է առանցքին ուղղահայաց հարթության մեջ): d հեռավորությունը կոչվում է ***ուժի բազուկ***: *Այն սկալյար ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է $\vec{F}$ ուժի մոդուլի և նրա d բազկի արտադրյալին, կոչվում է պտտող մոմենտ կամ ուժի մոմենտ՝ պտտման առանցքի նկատմամբ՝*

$$M = F \cdot d : \qquad (7.1)$$

Նկ. 78

Մարմինը ժամսլաքի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ պտտող ուժի մոմենտին ընդունված է վերագրել դրական,

իսկ ժամսլաքի շարժման ուղղությամբ պտտող մոմենտին՝ բացասական նշան: Այդ դեպքում նկ.77-ում պատկերված $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերի մոմենտներն O կետով անցնող և ուժերի վեկտորներով կազմված հարթությանն ուղղահայաց առանցքի նկատմամբ (այսինքն՝ O կետի նկատմամբ) ունեն հակադիր նշաններ, ուստի նրանց հանրահաշվական գումարը հավասար է 0-ի՝

$$-F_1d_1 + F_2d_2 = 0 \quad \text{կամ} \quad M_1 + M_2 = 0 : \tag{7.2}$$

(7.1) հավասարությունից հետևում է, որ միավորների ՄՀ-ում ուժի մոմենտը հավասար է 1 միավորի, եթե 1Ն ուժի ազդեցության գիծը գտնվում է պտտման առանցքից 1մ հեռավորության վրա: Այդ միավորը կոչվում է նյուտոն-մետր (Ն·մ):

Այսպիսով՝ պինդ մարմնի վրա ազդող ուժը նրան կարող է հաղորդել ինչպես համընթաց արագացում, այնպես էլ պտտական շարժումներ: Ուժը վեկտորական մեծություն է, ուստի այն բնութագրվում է թվային արժեքով, ուղղությամբ և, բացի դրանից, կիրառման կետով (գծագրի վրա ուժի վեկտորը պատկերելիս այն պետք է սկսել նկարել կիրառման կետից): Նշենք մի կարևոր հանգամանք: (7.1) արտահայտությունից հետևում է, որ եթե մարմնի վրա ազդող ուժերի կիրառման կետերը տեղափոխենք դրանց ազդման գծերի երկայնքով, ապա ուժերի բազուկները և, հետևաբար, պտտական ազդեցությունները չեն փոխվի: (5.6) արտահայտությունից հետևում է, որ չի փոխվի նաև համընթաց շարժման արագացումը: Հետևաբար, ***եթե ուժի կիրառման կետը տեղափոխենք իր ազդման գծի երկայնքով, ապա պինդ մարմնի շարժման վրա նրա ազդեցությունը չի փոխվի***: Մի շարք դեպքերում այդպիսի տեղափոխություն կարելի է անել մտովի կամ գծագրի վրա՝ մարմնի վրա ազդող մի քանի ուժերի համազորը գտնելու համար:

Որոշենք մարմնի վրա ազդող մի քանի ուժերի համակարգի համազորը գործնական կարևոր նշանակություն ունեցող մի քանի դեպքերում, ընդ որում, համընթաց շարժման վրա նույն ազդեցությունը թողնելու պայմանից կորոշենք համազոր ուժի վեկտորը՝

$$\boxed{\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n}, \tag{7.3}$$

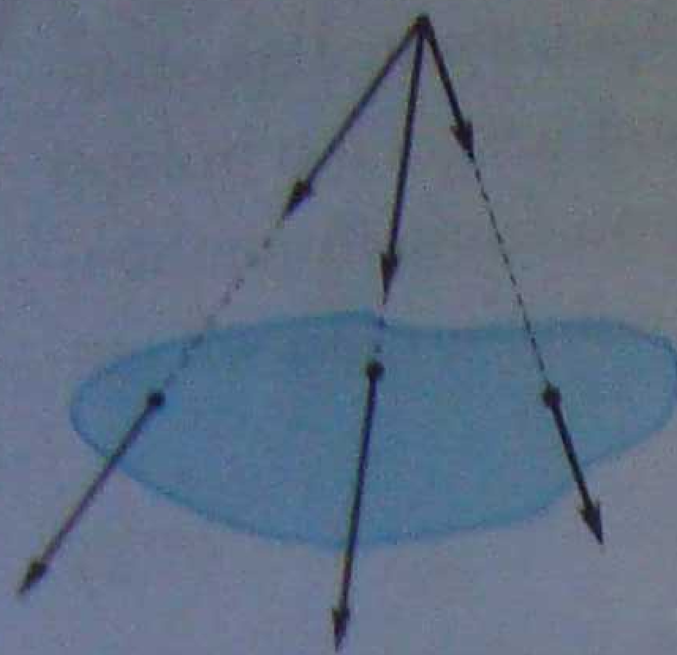
իսկ պտտական շարժման վրա նույն ազդեցությունը թողնելու պայմանից՝ համազորի կիրառման կետը կորոշենք այնպես, որ համազոր $\vec{F}$ ուժի M մոմենտը կամայական առանցքի նկատմամբ հավասար լինի համակարգի ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարին՝

$$\boxed{M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n} : \tag{7.4}$$

Եթե ուժերի համազորը գտնված է, ապա ակնհայտ է, որ համազորի մոմենտն իր կիրառման կետի նկատմամբ հավասար է զրոյի: Ուրեմն այդ կետի նկատմամբ պետք է հավասար լինի զրոյի նաև մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերի մոմենտների գումարը: Հաշվի առնելով այս հանգամանքը՝ համազորի կիրառման կետի որոշման խնդիրը հանգեցվում է ուժերի տվյալ համակարգի համար այնպիսի կետ գտնելուն, որի նկատմամբ մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերի մոմենտների գումարը հավասար է 0-ի:

Մի կետում ազդող ուժերի համազորը: Դիցուք՝ պինդ մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերը կիրառված են միևնույն կետում: Այդ կետի նկատմամբ յուրաքանչյուր ուժի մոմենտը հավասար է զրոյի, ուրեմն՝ զրոյի է հավասար նաև բոլոր ուժերի առաջացրած մոմենտը: Որպեսզի նույն կետի նկատմամբ զրոյի հավասար լինի նաև համազորի մոմենտը:

մենտր, անհրաժեշտ է, որ այն նույնպես կիրառված լինի նույն կետում: Ուրեմն՝ մի կետում ազդող ուժերի համազորը հավասար է այդ ուժերի երկրաչափական գումարին և կիրառված է այդ նույն կետում (տե՛ս § 23):

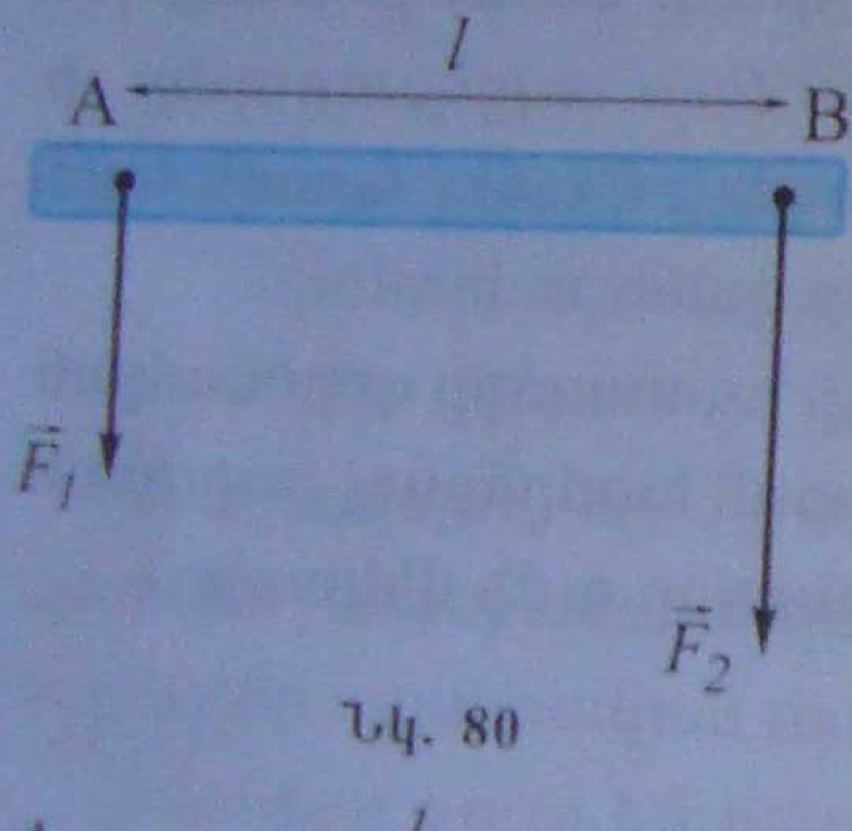


Նկ. 79

Մասնավոր դեպքում, երբ պինդ մարմնի միևնույն կետում ազդում են երկու ուժեր, ապա այդ ուժերի համազորը որոշվում է զուգահեռագծի կանոնով (տե՛ս § 5) և կիրառված է այդ նույն կետում: Այդ համազորի ուղղությունը և մոդուլը, ինչպես գիտենք, կախված են բաղադրիչ ուժերի մոդուլներից և ուժերի վեկտորների կազմած α անկյունից, ըստ որում, համազորի մոդուլը կարելի է գտնել օգտվելով կոսինուսների թեորեմից (տե՛ս § 5):

Երբ մարմնի վրա ազդող ուժերը միմյանց հետ անկյուն են կազմում և կիրառված են տարբեր կետերում, ապա դրանց համազորը գտնելու համար ուժերը պետք է շարունակել մինչև նրանց հատվելը (նկ. 79), այնուհետև՝ հաջորդաբար գումարել:

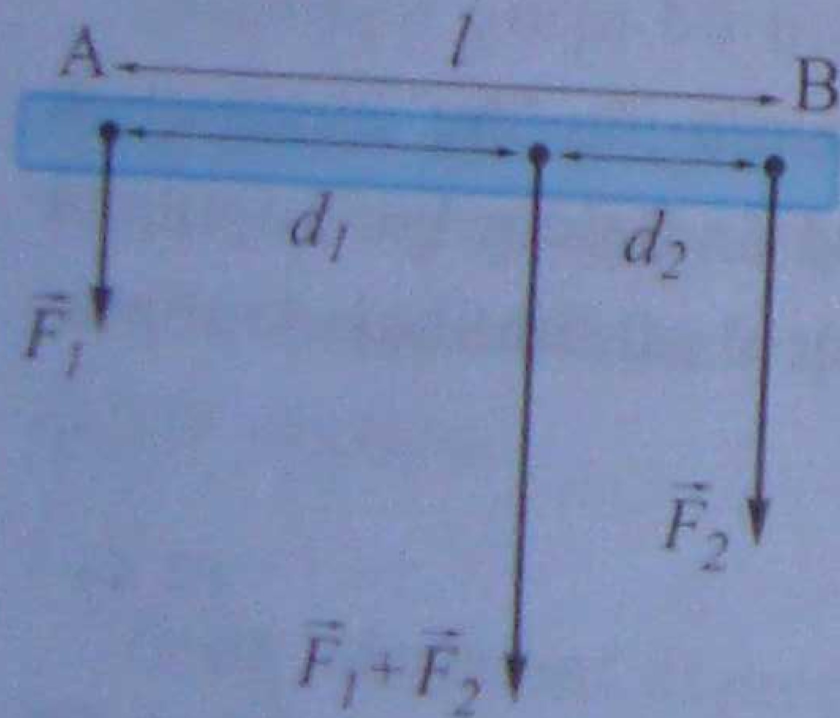
Համուղղված ուժերի համազորը: Դիցուք՝ մարմնի A և B կետերում ազդում են համուղղված $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժեր, որոնց ազդման գծերը գտնվում են միմյանցից l հեռավորության վրա (նկ. 80): (7.3) հավասարումից հետևում է, որ համազորի մոդուլը հավասար է ուժերի մոդուլների գումարին՝



Նկ. 80

$$F = F_1 + F_2 : \qquad (7.5)$$

Բնական է համազորի կիրառման կետը որոնել AB հատվածի ներսում, քանի որ համազորի կիրառման կետի նկատմամբ $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերի մոմենտները տարբեր նշաններ ունեն, և նրանց գումարը 0 կարող է դառնալ միայն այդ հատվածի որևէ կետում: Մնում է, որ ուժերի մոդուլների և բազուկների (նկ. 81) արտադրյալները լինեն հավասար՝

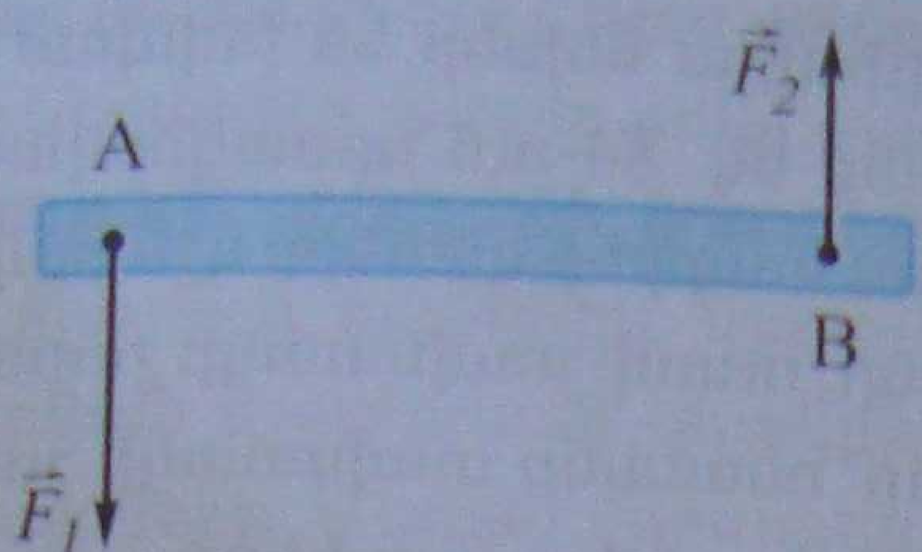


Նկ. 81

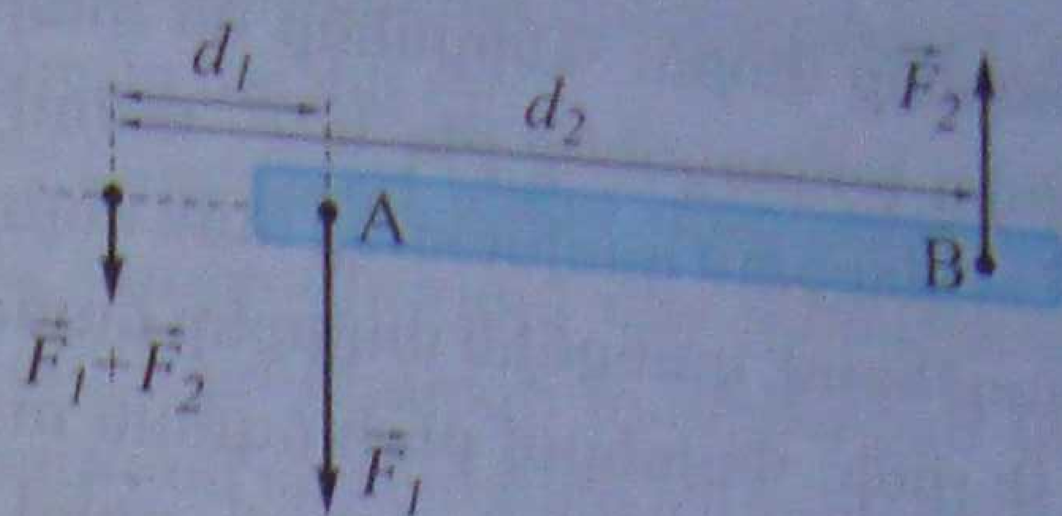
$$F_1 d_1 = F_2 d_2 \quad \text{կամ} \quad \frac{d_1}{d_2} = \frac{F_2}{F_1} :$$

Համուղղված ուժերի համազորի ուղղությունը համընկնում է այդ ուժերի ուղղության հետ, մոդուլը հավասար է ուժերի մոդուլների գումարին, իսկ կիրառման կետն ուժերի կիրառման կետերը միացնող հատվածը բաժանում է այդ ուժերի մոդուլներին հակադարձ համեմատական մասերի:

Հակուղղված ուժերի համազորը: Դիտարկենք հակուղղված, տարբեր մոդուլներով $\vec{F}_1$ և $\vec{F}_2$ ուժերը: Ենթադրենք, օրինակ, $F_1 > F_2$ (նկ. 82): (7.3) հավասարումից հետևում է, որ այս դեպքում համազորն ուղղված է $\vec{F}_1$-ի ուղղությամբ և նրա մոդուլը հավասար է $F_1 - F_2$: Այս դեպքում համազորի կիրառման կետը չի կարող գտնվել AB հատվածի ներսում, որովհետև այդ հատվածի բոլոր կետերի նկատմամբ ուժերի մոմենտները դրական են, ուստի նրանց գումարը 0-ի հավասար լինել չի կարող: Ուրեմն՝ համազորի կիրառման կետը պետք է փնտրել AB հատվածի շարունակության վրա, բայց ոչ $\vec{F}_2$ ուժի կողմում, քանի որ այդ տիրույթի ցանկացած կետի նկատմամբ մոդուլով փոքր ուժը կունենա փոքր բազուկ, ուստի ուժերի մոմենտների գումարը այդ



Նկ. 82



Նկ. 83

կետի նկատմամբ 0-ի հավասար լինել չի կարող: Մնում է ենթադրել, որ համազորի կիրառման կետը գտնվում է AB հատվածի շարունակության վրա, մոդուլով մեծ ուժի $\vec{F}_1$ կողմում (նկ.83), այնպես, որ

$$F_1d_1 = F_2d_2 \quad \text{կամ} \quad \frac{d_1}{d_2}=\frac{F_2}{F_1}\ : \qquad (7.5)$$

Հակուղղված ուժերի համազորի ուղղությունը համընկնում է մոդուլով մեծ ուժի ուղղության հետ, մոդուլը հավասար է ուժերի մոդուլների տարբերության մոդուլին, կիրառման կետը գտնվում է ուժերի կիրառման կետերը միացնող հատվածի շարունակության վրա՝ մոդուլով մեծ ուժի կողմում և ուժերի կիրառման կետերից գտնվում է նրանց մոդուլներին հակադարձ համեմատական հեռավորությունների վրա:

Եթե հակուղղված ուժերի մոդուլներն իրար հավասար են, ապա այդ ուժերի գումարի մոդուլը հավասար է զրոյի: Հետևաբար, զրոյի է հավասար նաև նրանց գումարի մոմենտը կամայական կետի նկատմամբ: Սակայն ուժերի մոմենտների գումարը ցանկացած կետի նկատմամբ տարբեր է 0-ից: Սա նշանակում է, որ մոդուլով իրար հավասար և հակուղղված ուժերը հնարավոր չէ փոխարինել մեկ ուժով, այսինքն՝ այս դեպքում համազոր ուժ գոյություն չունի: Մոդուլով հավասար, հակուղղված ուժերի համակարգը կոչվում է ***ուժազույգ***: Ուժազույգի ազդեցությունը կարող է բերել միայն պտույտի:

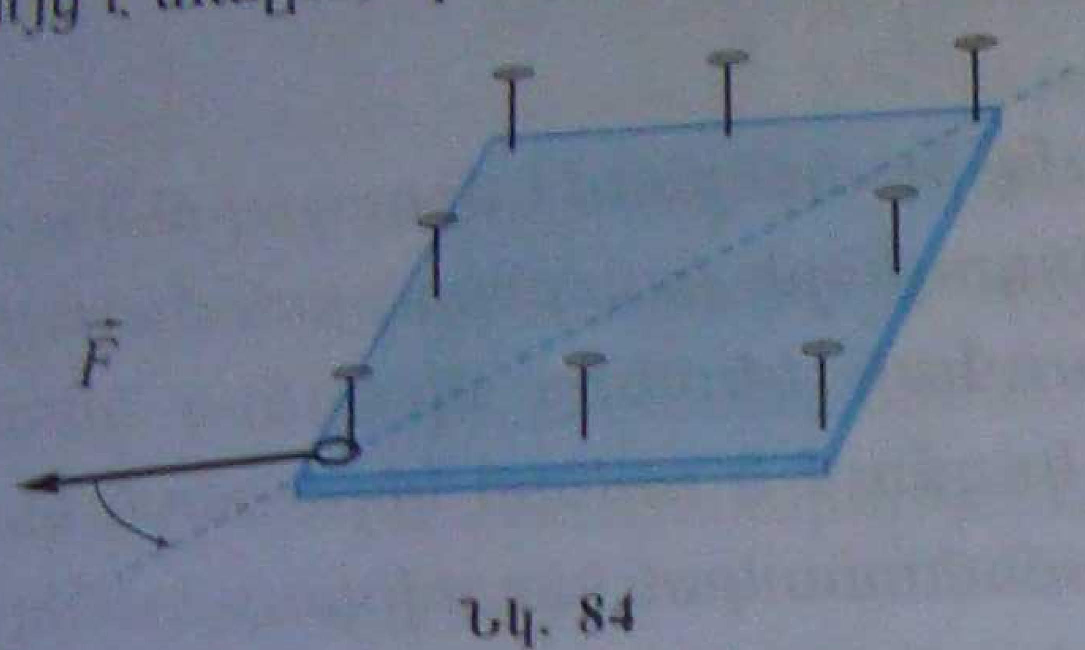
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ուժն է կոչվում մի քանի ուժերի համակարգի համազոր ուժ:*
2. *Ինչպե՞ս է կոչվում ուժի պտտական ազդեցությունը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունը, ինչի՞ է այն հավասար:*
3. *Ո՞ր մեծությունն է կոչվում ուժի բազուկ:*
4. *Ինչի՞ է հավասար մի կետում ազդող ուժերի համազորը և ո՞ր կետում է այն կիրառված:*
5. *Ձևակերպե՛ք համուղղված ուժերի համազորը որոշելու կանոնը:*
6. *Ուժերի ո՞ր համակարգը համազոր չունի: Ինչպե՞ս է կոչվում այդ համակարգը:*

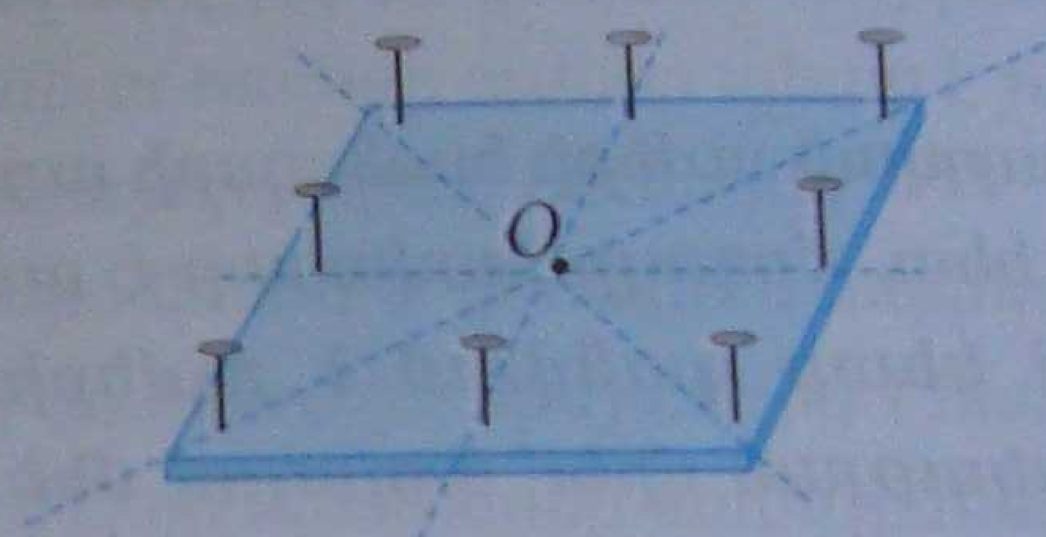
§ 33. Զանգվածների կենտրոն և ծանրության կենտրոն

«Դինամիկա» բաժնում տարբեր ուժերի ազդեցությամբ մարմինների շարժումն ուսումնասիրելիս մենք ուշադրություն չէինք դարձնում այն բանին, որ մարմիններն ունեն չափեր: Մարմնի արագացումը որոշելիս մենք այն համարում էինք նյութական կետ: Այդ կետում էլ պատկերում էինք մարմնի վրա ազդող ուժերը: Նման պարզեցումը ճիշտ է, եթե մարմինը շարժվում է համընթաց: Այժմ պարզենք, թե մարմնի որ կետի նկատմամբ պետք է կիրառել ուժը, որպեսզի նրա արագացող շարժումը լինի համընթաց:

Կատարենք փորձ: Վերցնենք մի տախտակ, որի վրա մեխեր են խփված (նկ. 84): Որևէ մեխից ամրացնենք թել և $\vec{F}$ ուժով թելը ձգենք նկ. 84-ում պատկերված ուղղությամբ: Այդ դեպքում տախտակը նաև կպտտվի: Նրա տարբեր կետերը կշարժվեն տարբեր հետագծերով, կանցնեն տարբեր ճանապարհներ, ուստի տախտակի շարժումը համընթաց չի լինի: Փոխելով թելի ձգման ուղղությունը՝ հետևենք տախտակի շարժմանը: Կնկատենք, որ կա մի ուղղություն, որով ձգելիս տախտակը շարժվում է համընթաց: Թելն ամրացնելով մյուս մեխերից՝ կարող ենք համոզվել, որ տախտակի յուրաքանչյուր կետի համար գոյություն ունի միայն մի ուղիղ, որի երկայնքով ազդելիս տախտակը կատարում է համընթաց շարժում: Նկ. 85-ում ցույց են տրված այն ուղիղները, որոնց երկայնքով ազդող ուժերը տախտակին հաղորդում են միայն համընթաց շարժում: Փորձը ցույց է տալիս, որ այդ ուղիղները հատվում են մի կետում (նկ. 85-ում՝ O կետը):



Նկ. 84



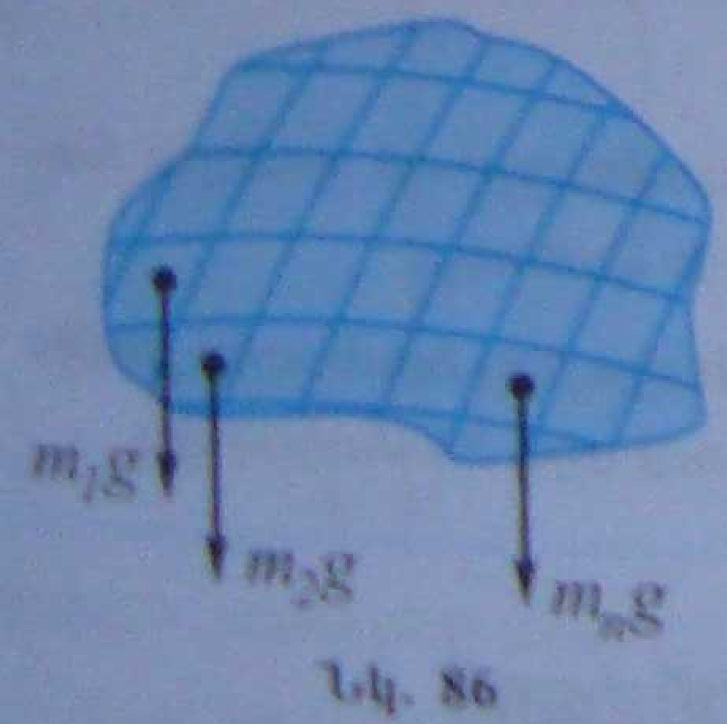
Նկ. 85

Այն ուղիղների հատման կետը, որոնց երկայնքով ազդող ուժերը մարմնին հաղորդում են միայն համընթաց շարժում, կոչվում է մարմնի զանգվածների կենտրոն:

Եթե մարմինը մեկ կամ մի քանի ուժերի ազդեցությամբ շարժվում է համընթաց, ապա դա նշանակում է, որ այդ ուժի կամ բոլոր ուժերի համազորի ուղղությունն անցնում է զանգվածների կենտրոնով:

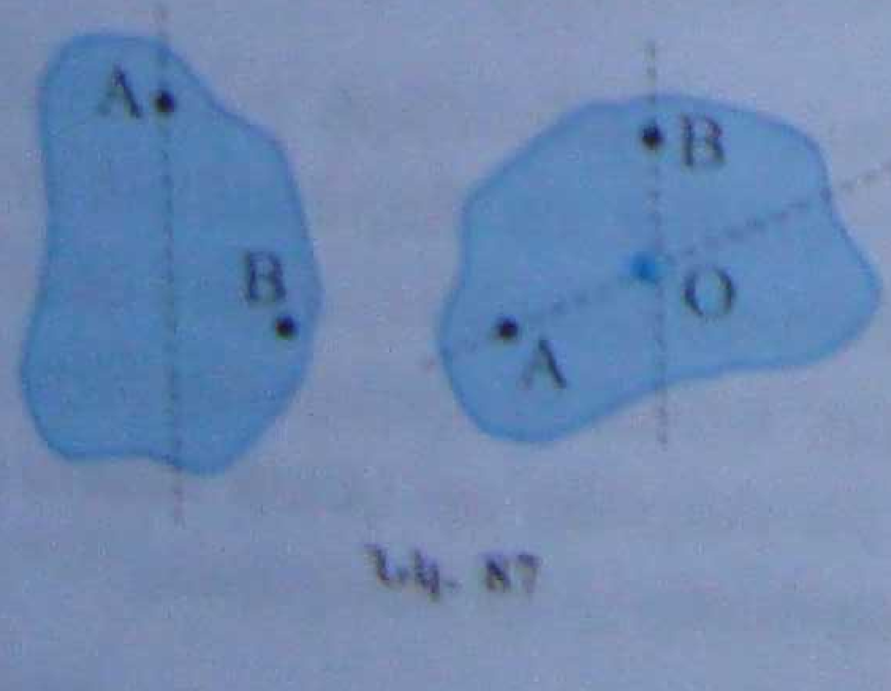
Մարմնի զանգվածների կենտրոնն այդ դեպքում շարժվում է այնպես, որ կարծես նրանում է կենտրոնացված մարմնի ողջ զանգվածը, և նրա նկատմամբ են կիրառված մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերը:

Մարմնի չափերի հաշվի առնելն առաջացնում է որոշակի դժվարություն՝ կապված այն բանի հետ, թե որ կետում պետք է պատկերել նրա վրա ազդող ծանրության ուժը, քանի որ այն ազդում է մարմնի բոլոր մասերի վրա (նկ. 86): ***Մարմնի բոլոր մասերի վրա ազդող ծանրության ուժերի համազորի կիրառման կետը կոչվում է ծանրության կենտրոն:*** Հենց ծանրության կենտրոնում էլ պատկերվում է մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժը: Մարմնի ծանրության կենտրոնի դիրքը կախված է մարմնի ձևից և նրանում զանգվածի բաշխումից:



Նկ. 86

Եթե մարմինը կախենք թելից՝ այն հաջորդաբար ամրացնելով տարբեր կետերում (նկ. 87), ապա թելով նշված ուղղությունները կհատվեն ծանրության կենտրոնում:



Նկ. 87

Փորձերը ցույց են տալիս, որ ազատ ընկնող մարմինները, եթե մինչև անկման սկիզբը նրանց պտտական շարժում չի հաղորդվել, կատարում են համընթաց շարժում: Ուրեմն՝ ծանրության ուժը մարմնին հաղորդում է միայն համընթաց շարժում, հետևաբար՝ ***մարմնի ծանրության***

կենտրոնը համընկնում է նրա զանգվածների կենտրոնի հետ (ենթադրվում է, որ մարմնի բոլոր կետերում ազատ անկման արագացումը նույնն է):

Ծանրության կենտրոնի կոորդինատները*: Օգտվելով [illegible] կետերի [illegible] կարելի է գտնել [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] համակարգի ծանրության կենտրոնի կոորդինատները: [illegible] կազմված համակարգի (նկ. 88) ծանրության կենտրոնի կոորդինատները՝

$$x_c = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad y_c = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \dots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}. \qquad (7.6)$$

Կամայական մարմնի ծանրության կենտրոնի դիրքը որոշելու համար կարելի է [illegible] կետում, համաչափության կենտրոն ունեցող, համասեռ մարմինների (համասեռ [illegible]) ծանրության կենտրոնը (գնդի և կլոր, գլան, կոն, [illegible]) գտնվում է նրանց համաչափության կենտրոնում:

Նկ. 88

Երբ մարմնի առանձին մասերի ծանրության կենտրոնների դիրքերը հայտնի են, [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] ծանրության կենտրոնում: [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] համակարգի ծանրության կենտրոնն էլ կլինի այդ մարմնի ծանրության կենտրոնը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ո՞ր կետն են անվանում զանգվածների կենտրոն:
2. Ո՞ր կետն են անվանում ծանրության կենտրոն:
3. Ինչի՞ մասին է վկայում այն փաստը, որ ազատ անկում կատարող մարմինը կատարում է համընթաց շարժում:
4. Նկարագրե՛ք փորձ, որը հնարավորություն է տալիս գտնել մարմնի ծանրության կենտրոնը:
5. Ինչպե՞ս գտնել մարմնի ծանրության կենտրոնը, երբ նրա առանձին մասերի ծանրության կենտրոնների դիրքերը հայտնի են:
6. Որտե՞ղ է գտնվում համաչափության կենտրոն ունեցող համասեռ մարմնի ծանրության կենտրոնը:

§ 34. Մարմինների հավասարակշռությունը

«Ստատիկա» բաժնի հիմնական խնդիրներից մեկը մարմինների (մեխանիկական համակարգերի) հավասարակշռության պայմանների ուսումնասիրությունն է: Մեխանիկական համակարգի հավասարակշռությունը համակարգի այնպիսի վիճակն է, երբ ուժերի ազդեցությամբ նրա բոլոր կետերը տվյալ հաշվարկման համակարգում գտնվում են դադարի վիճակում:

Ամեն մի անշարժ մարմին գտնվում է հավասարակշռության մեջ, եթե՝

ա) նրա վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարը հավասար է զրոյի,

բ) այդ ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարը ցանկացած կետով անցնող առանցքի նկատմամբ հավասար է զրոյի՝

$$\boxed{\vec{F}_1+\vec{F}_2+\cdots+\vec{F}_N=0}\,, \qquad (7.7)$$

$$\boxed{M_1+M_2+\cdots+M_N=0}\,: \qquad (7.8)$$

Նշենք, որ մարմնի հավասարակշռության (7.7) և (7.8) պայմաններին բավարարում են նաև հավասարաչափ համընթաց շարժումը և հավասարաչափ պտույտը սևեռված առանցքի շուրջը:

Եթե մի քանի վեկտորների երկրաչափական գումարը հավասար է զրոյի, ապա զրոյի է հավասար նաև ցանկացած առանցքի վրա այդ վեկտորների պրոյեկցիաների գումարը:

Եթե մեխանիկական համակարգը «զրկված» է համընթաց շարժվելու հնարավորությունից, ապա նրա հավասարակշռության պայմանը իր վրա ազդող ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարի զրոյի հավասար լինելն է: Օրինակ՝ եթե լծակը (նկ. 89) սևեռված է O կետում, ապա նրա հավասարակշռության համար բավարար պայման է O կետի նկատմամբ լծակի բազուկների վրա ազդող ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարի զրոյի հավասար լինելը՝

Նկ. 89

$$F_1d_1-F_2d_2=0\,:$$

Այստեղից բխում է *լծակի* հայտնի **կանոնը**. ***լծակը գտնվում է հավասարակշռության մեջ, երբ նրա վրա ազդող ուժերը հակադարձ համեմատական են բազուկներին.***

$$\boxed{\frac{F_1}{F_2}=\frac{d_2}{d_1}}\,: \qquad (7.9)$$

Հավասարակշռության տեսակները: Գործնականում կարևոր դեր է խաղում ոչ միայն մարմնի հավասարակշռության պայմանների կատարումը, այլև հավասարակշռության որակական մի բնութագիր, որը կոչվում է ***կայունություն***:

Ռուսիկ պատվանդանի գագաթին հավասարակշռության մեջ գտնվող գնդիկի (նկ. 90,ա) ամենափոքր շեղման դեպքում (որը միշտ հնարավոր է պատահական ցնցումների, օդի հոսանքների և այլ պատճառներով) $m\vec{g}$ ծանրության ուժի և $\vec{N}$ հակազդեցու-



Նկ. 90



Նկ. 91

Հենարանի վրա գտնվող մարմինների հավասարակշռությունը:

թյան ուժի համազորն ուղղված է այնպես, որ գնդիկն ավելի է հեռանում հավասարակշռության դիրքից: Ուստի մարմնի այսպիսի հավասարակշռությունը կոչվում է *անկայուն*:

Հավասարակշռությունն անկայուն է, եթե հավասարակշռության դիրքից ամենափոքր շեղման դեպքում մարմնի նկատմամբ կիրառված ուժերի համազորը մարմինը հեռացնում է հավասարակշռության դիրքից:

Եթե, օրինակ, հավասարակշռության դիրքից շեղենք հորիզոնական հարթության վրա գտնվող գնդիկը (նկ. 90,*բ*), ապա նրա նոր դիրքում էլ ծանրության ուժը կհամակշռվի հենարանի հակազդեցության ուժով, և գնդիկը նոր դիրքում էլ կգտնվի հավասարակշռության մեջ: Այդպիսի հավասարակշռությունը կոչվում է *անտարբեր*:

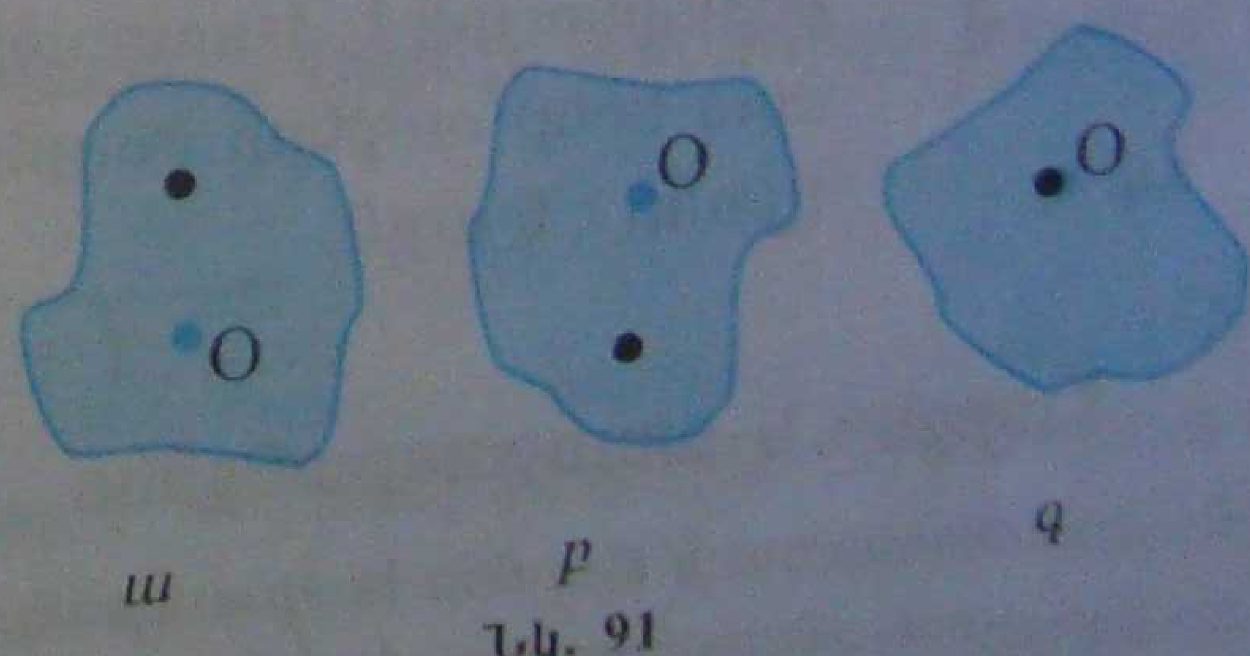
Նկ. 90

Նկ. 90,*գ* -ում պատկերված գնդիկը հավասարակշռության դիրքից շեղելիս նրա վրա ազդող ուժերի համազորն ուղղված է դեպի հավասարակշռության դիրքը և գնդիկին ստիպում է վերադառնալ այդ դիրքը: Այսպիսի հավասարակշռությունը կոչվում է *կայուն*:

Մարմնի հավասարակշռությունը կայուն է, եթե հավասարակշռության դիրքից ամենափոքր շեղման դեպքում մարմնի նկատմամբ կիրառված ուժերի համազորը մարմինը վերադարձնում է հավասարակշռության դիրքը:

Երբ գնդիկը գտնվում է անկայուն հավասարակշռության վիճակում, նրա ծանրության կենտրոնն ավելի բարձր է, քան յանկացած հարևան դիրքում: Անտարբեր հավասարակշռության վիճակում գնդիկի ծանրության կենտրոնը գտնվում է նույն բարձրության վրա, ինչ որ հարևան կետերում: Գոգավոր մակերևույթի վրա գտնվող գնդիկի ծանրության կենտրոնը կայուն հավասարակշռության վիճակում ավելի ցածր է, քան յանկացած հարևան դիրքում: Ուրեմն՝ կայուն հավասարակշռություն պահպանելու համար մարմնի ծանրության կենտրոնը պետք է գտնվի հնարավոր դիրքերից ամենացածրում:

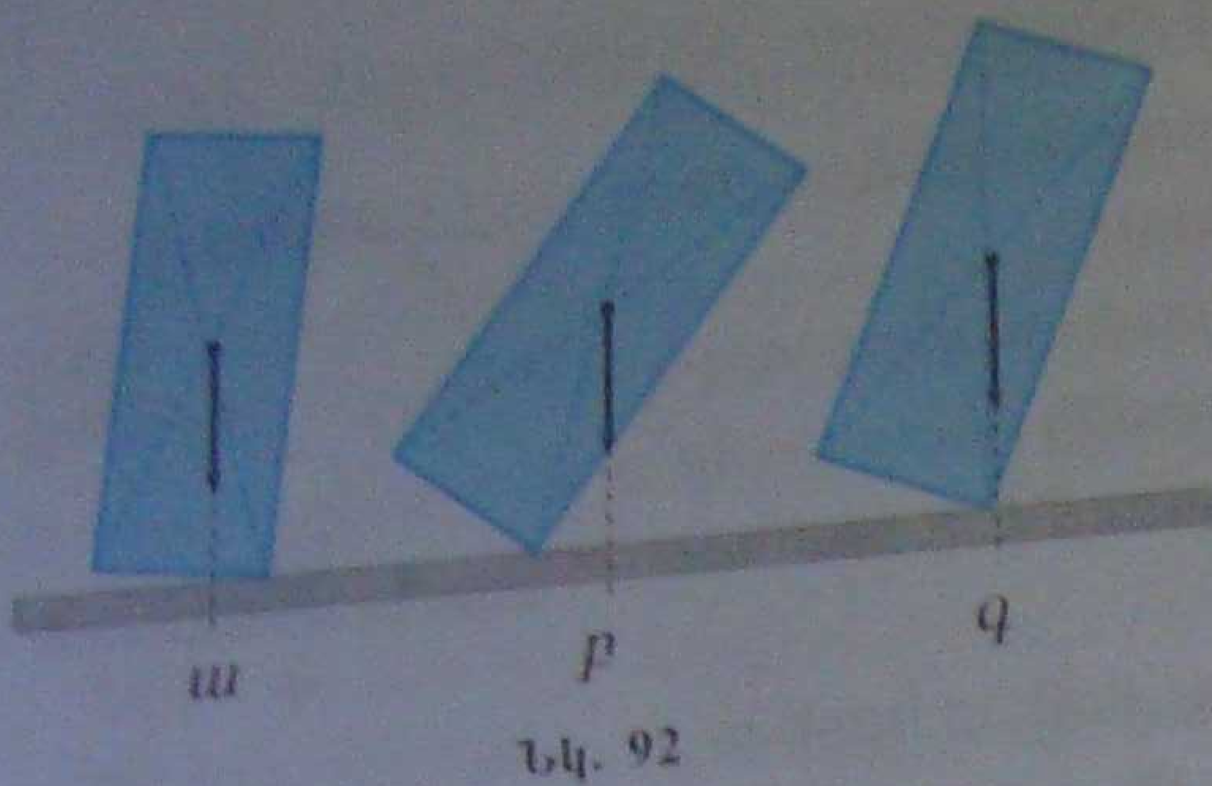
Պտտման առանցք ունեցող մարմինը կգտնվի կայուն հավասարակշռության վիճակում, եթե նրա ծանրության O կենտրոնը գտնվի պտտման առանցքից ներքև (նկ. 91,*ա*): Եթե ծանրության կենտրոնը գտնվում է պտտման առանցքից (կախման կետից) վերև, ապա հավասարակշռությունն անկայուն է (նկ. 91,*բ*): Իսկ եթե պտտման առանցքն անցնում է ծանրության կենտրոնով, ապա հավասարակշռությունն անտարբեր է (նկ. 91,*գ*):



Նկ. 91

Հենարանի վրա գտնվող մարմինների հավասարակշռությունը: Մենք ուսումնասիրեցինք մարմինների հավասարակշռության կայունության և անկայունության պայմանները, երբ նրանք ունեն հենման առանցք կամ հենման կետ: Պակաս կարևոր չէ նաև այն դեպքը, երբ մարմինը հենվում է ոչ թե կետի (կամ առանցքի), այլ որևէ մակերևույթի վրա: Հենման մակերևույթ ունեն հատակին դրված արկղը, սեղանին դրված բաժակը, բոլոր շենքերը, գործարանների ծխնելույզները և այլն: Որո՞նք են մարմինների հավասարակշռության կայունության պայմանները այս դեպքում:

Հենման մակերևույթ ունեցող մարմիններ վրա կրկին ազդում և իրար համակշռում են ծանրության ուժը, որը կարելի է համարել կիրառված ծանրության կենտրոնում, և հենարանի առաձգականության (հակազդեցության) ուժը, որն ուղղահայաց է նրա մակերևույթին: Ինչպես և մինչև այժմ քննարկված դեպքերում, հավասարակշռությունը կայուն, եթե հավասարակշռության վիճակից շեղվելիս չի առաջանում այնպիսի ուժ, որը մարմինը հեռացնի այդ դիրքից: Օրինակ` հորիզոնական մակերևույթին դրված պրիզման գտնվում է հավասարակշռության մեջ: Այդ հավասարակշռությունը կայուն է, քանի որ փոքր անկյամբ շեղելիս պրիզմայի ծանրության ուժի ազդեցության գիծը (որը համընկնում է ուղղաձիգի հետ) պրիզմայի հիմքը հատում է հենման կետերից ձախ (նկ. 92,ա), և ծանրության ուժը պրիզման վերադարձնում է նախկին դիրքը:



Նկ. 92

Բայց եթե էլ ավելի թեքենք պրիզման (նկ. 92,բ), ապա արդյունքն այլ կլինի: Ծանրության ուժի ազդեցության գիծը (ուղղաձիգը) հիմա պրիզմայի հիմքը հատում է հենման կետերից աջ, և ծանրության ուժի ազդեցությամբ պրիզման կթեքվի ավելի մեծ չափով: Ի վերջո, այն կշրջվի: Նկ. 92,գ -ն համապատասխանում է պրիզմայի սահմանային դիրքին, երբ այն դեռևս չի ընկնում: Այդ դեպքում ծանրության ուժի ազդեցության գիծը հատում է այն գիծը, որի երկայնքով դասավորված են պրիզմայի հենման կետերը:


Նկ. 93

Այսպիսով` մարմնի կայունության համար անհրաժեշտ է, որ ծանրության կենտրոնից տարված ուղղաձիգը հատի մարմնի հենման մակերևույթը:

Հենման մակերևույթը ոչ միշտ է համընկնում այն մակերևույթին, որով մարմինն իսկապես հպվում է հենարանին: Օրինակ` սեղանի հենման մակերևույթը նրա չորս ոտքերը միացնող ուղիղներով կազմված կոնտուրի մակերևույթն է: Եռոտանի ամրակալանի հենման մակերևույթը (նկ. 93) նրա երեք ոտքերի ծայրերը միացնող հատվածներով կազմված եռանկյունն է և այլն:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք մարմնի հավասարակշռության ընդհանուր պայմանը:*
2. *Ո՞րն է սևեռված առանցքով մարմնի հավասարակշռության պայմանը:*
3. *Ձևակերպե՛ք լծակի կանոնը:*
4. *Թվարկե՛ք հավասարակշռության տեսակները և տվե՛ք դրանց սահմանումները:*
5. *Ո՞ր պայմանի դեպքում է հենարանի վրա գտնվող մարմնի վիճակը կայուն:*

§ 35. Լաբորատոր աշխատանք N5. Լծակի հավասարակշռության պայմանի պարզաբանումը

Աշխատանքի նպատակը. Ստուգել մոմենտների կանոնը, երբ լծակը գտնվում է հավասարակշռության մեջ:

Չափամիջոցներ. 1. ուժաչափ (0÷4 Ն սանդղակով և 0,1 Ն բաժանման արժեքով), 2. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. լծակ, 2. 100 կամ 50 գրամանոց բեռների հավաքածու, 3. ամբակալան՝ կցորդիչով:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Լծակը տեղակայել ամրակալանի վրա և այն հավասարակշռել հորիզոնական դիրքում:
2. Լծակի բազուկներից մեկի որևէ կետից կախել P կշռով բեռ:
3. Լծակի մյուս բազուկին ամրացնել ուժաչափ և որոշել այն F ուժը, որը պետք է կիրառել լծակի նկատմամբ, որպեսզի այն գտնվի հավասարակշռության մեջ:
4. Քանոնով չափել լծակի բազուկների երկարությունները:
5. Գտած մեծությունները գրանցել աղյուսակում.

l_1, մ	l_2, մ	P	F	$M_1 = Pl_1$, Ն·մ	$M_2 = Fl_2$, Ն·մ

6. Ստուգել $M_1 = M_2$ պայմանի (մոմենտների կանոն) ճշտությունը:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. Կարո՞ղ է արդյոք մի կետում կիրառված 10 և 14 Ն ուժերի համազորը հավասար լինել 2, 4, 10, 24, 30 Ն-ի:

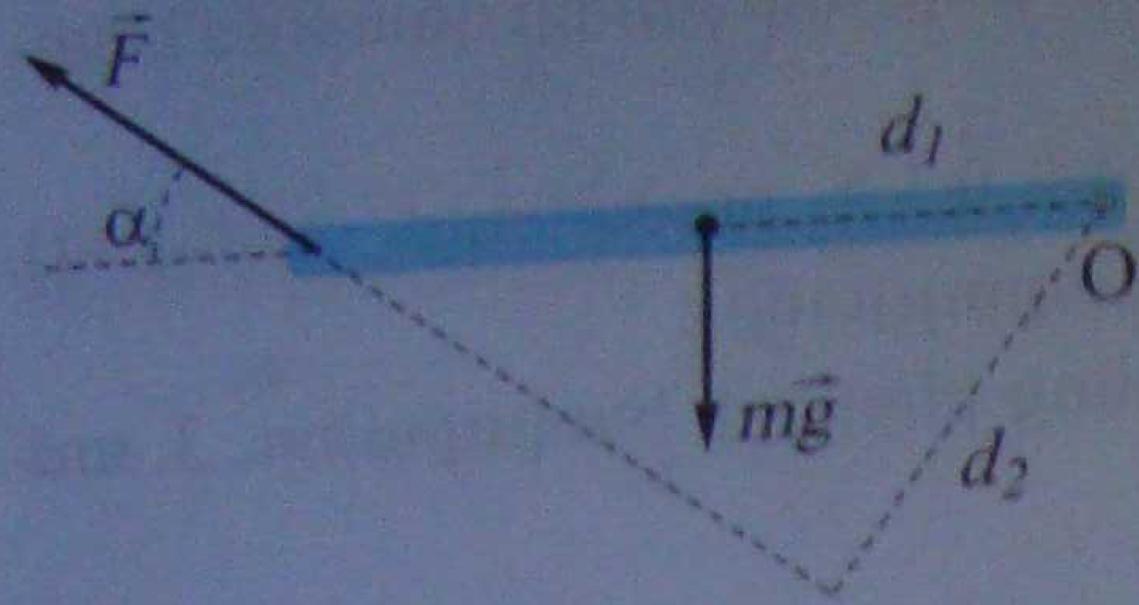
Լուծում: $F_1 = 10$ Ն և $F_2 = 14$ Ն ուժերի համազորի մոդուլը այդ ուժերի կազմած α անկյունից կախված է հետևյալ ձևով՝

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}\ :$$

Ինչպես երևում է այս արտահայտությունից, F-ն առավելագույնն է, եթե $\cos\alpha$-ն է առավելագույնը, այսինքն՝ երբ $\alpha = 0°$: Այդ դեպքում՝ $F = F_1 + F_2$: α-ի մեծացմանը զուգընթաց F-ը նվազում է և ընդունում է նվազագույն արժեք, երբ $\cos\alpha$-ն է նվազագույնը, այսինքն՝ երբ $\alpha = 180°$: Այս դեպքում՝ $F = F_2 - F_1$: Այսպիսով, կախված α-ից, համազոր ուժի մոդուլը կարող է ընդունել բոլոր այն արժեքները, որոնք ընկած են $[F_2 - F_1, F_2 + F_1]$ միջակայքում: Ուրեմն՝ F-ի բոլոր հնարավոր արժեքների համար կարելի է գրել՝ $4 \le F \le 24$ (Ն):

Հետևաբար՝ 2 և 30 Ն արժեքներ համազորն ընդունել չի կարող, իսկ 4, 10 և 24 Ն՝ կարող է:

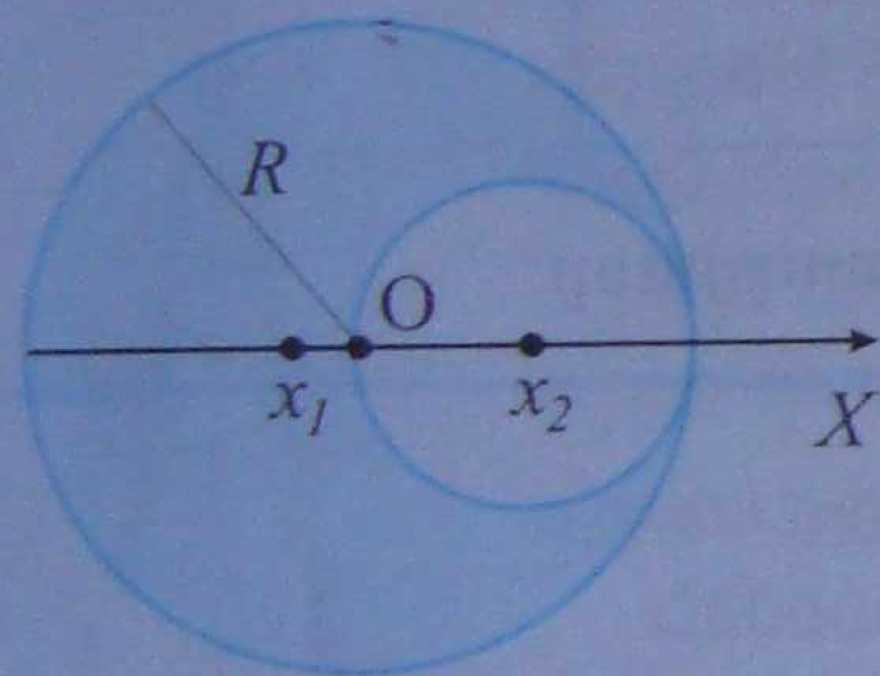
2. ***m = 2 կգ զանգվածով համասեռ ձողը կարող է պտտվել իր O ծայրով անցնող հորիզոնական առանցքի շուրջը: Ձողի մյուս ծայրին α= 30° անկյան տակ ազդում է F ուժ: Ուժի ի՞նչ արժեքի դեպքում ձողը կգտնվի հավասարակշռության վիճակում:***



Լուծում: Ձողի վրա ազդում են երեք ուժեր՝ նրա միջնակետում կիրառված ծանրության ուժը, F ուժը և O հոդակապի կողմից ազդող ուժը, որի մոմենտը O կետի նկատմամբ հավասար է զրոյի, ուստի այդ ուժը պատկերված չէ նկարում: Ծանրության ուժի մոմենտն O կետով անցնող առանցքի նկատմամբ ձողը պտտում է ժամսլաքին հակառակ ուղղությամբ: Ձողը կգտնվի հավասարակշռության մեջ, եթե այդ երկու ուժերի մոմենտների գումարը հավասար լինի զրոյի. $mgd_1 - Fd_2 = 0$: Եթե ձողի երկարությունը նշանակենք l, ապա, ինչպես երևում է նկարից՝ $d_1 = l/2$, $d_2 = l\sin\alpha = l/2$, ուստի՝ $F = mg = 20$Ն:

3. ***R շառավղով համասեռ սկավառակից հանված է R/2 շառավղով սկավառակ: Որոշել ստացված մարմնի ծանրության կենտրոնի կոորդինատները:***

Լուծում: Նկարում պատկերված մարմնի համաչափությունից հետևում է, որ նրա ծանրության կենտրոնը գտնվում է X առանցքի վրա: Պատկերացնենք, որ սկավառակից կտրված մասը դրել ենք իր տեղում: Կունենանք $R/2$ շառավղով սկավառակից և նկարում պատկերված մարմնից կազմված համակարգ, որն իրենից ներկայացնում է ամբողջական սկավառակը, որի ծանրության կենտրոնը գտնվում է սկավառակի կենտրոնում՝ $x_C = 0$ կետում: Ստացվում է, որ այս դեպքում հայտնի է երկու մարմիններից կազմված համակարգի և մարմիններից մեկի ծանրության կենտրոնի դիրքը ($x_C = 0$, $x_2 = R/2$), և անհրաժեշտ է գտնել մյուս մարմնի ծանրության կենտրոնի դիրքը: Համակարգի ծանրության կենտրոնի կոորդինատը՝



$$x_C = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2},$$

որտեղ m_1-ը, x_1-ը, m_2-ը և x_2-ը համապատասխանաբար մարմնի և հանված սկավառակի զանգվածները և ծանրության կենտրոնի կոորդինատներն են:

Եթե մարմնի նյութի խտությունը նշանակենք ρ -ով, ապա $m_1 = \pi(R^2 - R^2/4)\rho d = 3\pi R^2\rho d/4$, $m_2 = \pi R^2\rho d/4$, որտեղ d -ն սկավառակի հաստությունն է: $x_C = 0$ պայմանից կստանանք՝ $x_2 = -m_1x_1/m_2$, որի մեջ տեղադրելով m_1-ի, m_2-ի և $x_1 = R/2$ արժեքները՝ կստանանք՝ $x_2 = -R/6$: Այսպիսով՝ նկարում պատկերված մարմնի ծանրության կենտրոնը գտնվում է O կետից դեպի ձախ՝ $R/6$ հեռավորության վրա:

Խնդիրներ

1. *20մ երկարություն ունեցող անկշիռ ճոպանի միջնակետից կախված է 3,4 կգ զանգված ունեցող աշտանակ: Դրա պատճառով ճոպանը կախ է ընկել 5 սմ-ով: Որոշել ճոպանում ծագող առաձգականության ուժերը:*

2. *1 կգ զանգված և 0,72 մ երկարություն ունեցող համասեռ ձողի ծայրերին ամրացված են 1 կգ և 2 կգ զանգվածներով գնդիկներ: Ձողի մեջտեղից ի՞նչ հեռավորության վրա է գտնվում համակարգի զանգվածների կենտրոնը:*

3. *10 և 12 կգ զանգվածներ ունեցող, 4 և 6 սմ շառավիղներով երկու համասեռ գնդեր իրար են միացված 2 կգ զանգվածով և 10 սմ երկարությամբ համասեռ ձողով: Գնդերի կենտրոնները գտնվում են ձողի առանցքի շարունակությունների վրա: Գտնել այդ համակարգի ծանրության կենտրոնի դիրքը:*

4. *Գլանաձև ձողի մի կեսը երկաթից է, մյուսը՝ ալյումինից: Որոշել ծանրության կենտրոնի դիրքը, եթե ձողի երկարությունը 30 սմ է:*

5. *200 կգ զանգվածով և 5 մ երկարությամբ հեծանի մի ծայրից 3 մ հեռավորության վրա կախված է 250 կգ զանգվածով բեռ: Հեծանը ծայրերով դրված է հենարաններին: Ինչքա՞ն է ճնշման ուժը հենարաններից յուրաքանչյուրի վրա:*

6. *10 կգ զանգվածով և 40 սմ երկարությամբ ձողի ծայրերից կախված են 40 և 10 կգ զանգվածներ ունեցող բեռներ: Որտե՞ղ պետք է ձողին հենարան դնել, որպեսզի այն գտնվի հավասարակշռության մեջ:*

7. *Համասեռ լիսեռի ծայրից կտրեցին 40 սմ երկարությամբ կտոր: Ո՞ր կողմ և ինչքա՞ն տեղափոխվեց ծանրության կենտրոնը:*

8. *α անկյունով թեք հարթության վրա դադարի վիճակում գտնվում է մի համասեռ չորսու, որի բարձրությունը հավասար է h-ի: Ծանրության կենտրոնից ի՞նչ հեռավորության վրա է անցնում հենարանի հակազդման ուժը:*

9. *10 կգ զանգված ունեցող տախտակին հենակ է դրված նրա երկարության 1/4-ի վրա: Տախտակին ուղղահայաց ի՞նչ ուժ պետք է կիրառել նրա կարճ հատվածի ծայրին, որպեսզի տախտակը պահվի հավասարակշռության մեջ:*

10. *1,7 մ երկարությամբ գլանաձև ձողի մի կեսը երկաթից է, մյուսը՝ կապարից: Երկաթի խտությունը հավասար է կապարի խտության 0,7 մասին: Ձողի կենտրոնից ի՞նչ հեռավորության վրա է գտնվում նրա զանգվածների կենտրոնը:*

11. *0,5 կգ զանգվածով համասեռ ձողն իր մի ծայրին ամրացված որոշակի զանգված ունեցող ծանրոցով կգտնվի հավասարակշռության մեջ, եթե նրան հենակ դրվի ձողի երկարության 1/8-ին հավասար հեռավորության վրա: Որոշել ծանրոցի զանգվածը:*

ԳԼՈՒԽ 7-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Պինդ մարմնի վրա ազդող ուժը նրան կարող է հաղորդել ինչպես համընթաց արագացող շարժում, այնպես էլ՝ պտույտ:
2. Ստատիկայի խնդիրներն են՝ պինդ մարմնի վրա ազդող ուժերի համակարգի փոխարինումը դրա համազորով կամ ուժազույգով և պինդ մարմնի հավասարակշռության պայմանների որոշումը:
3. Ուժի մոմենտը հավասար է նրա մոդուլի և բազուկի արտադրյալին: Այն բնութագրում է ուժի պտտող ազդեցությունը: Սահմանումից հետևում է, որ ուժի ազդեցությունը

վիլի, եթե նրա կիրառման կետը տեղափոխվի ուժի վեկտորի շարժման վրա չի փոխվի, եթե նրա կիրառման կետը տեղափոխվի ուժի վեկտորի ուղղությամբ:

4. Բոլոր այն դեպքերում, երբ մարմնի վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարը տարբեր է զրոյից, այդ ուժերը հնարավոր է փոխարինել մեկ ուժով՝ համազորով, ընդ որում, համազոր ուժը հավասար է մարմնի վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարին, իսկ նրա մոմենտը կամայական կետով անցնող առանցքի նկատմամբ հավասար է նույն առանցքի նկատմամբ բոլոր ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարին:

5. Որպեսզի պինդ մարմինը գտնվի հավասարակշռության մեջ, անհրաժեշտ և բավարար է, որ տեղի ունենա երկու պայման՝ մարմնի վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարը պետք է հավասար լինի զրոյի և ազդող ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարը պետք է հավասար լինի զրոյի:

6. Գործնականում կարելի է իրականացնել միայն մարմնի կայուն և անտարբեր հավասարակշռությունը: Մարմնի հավասարակշռությունը կայուն է, եթե հավասարակշռության դիրքից փոքր-ինչ շեղելիս նրա վրա ազդող ուժերն այն վերադարձնում են ելման կետը (այդ դիրքում պոտենցիալ էներգիան ունի նվազագույն արժեք):

7. Հենարանի վրա գտնվող մարմնի հավասարակշռությունը կայուն է, եթե մարմնի ծանրության կենտրոնից տարված ուղղաձիգը հատում է նրա հենման մակերևույթը:

շարժման վրա չի փոխվի, եթե նրա կիրառման կետը տեղափոխվի ուժի վեկտորի ուղղությամբ:

4. Բոլոր այն դեպքերում, երբ մարմնի վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարը տարբեր է զրոյից, այդ ուժերը հնարավոր է փոխարինել մեկ ուժով` համազորով, ընդ որում, համազոր ուժը հավասար է մարմնի վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարին, իսկ նրա մոմենտը կամայական կետով անցնող առանցքի նկատմամբ հավասար է նույն առանցքի նկատմամբ բոլոր ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարին:

5. Որպեսզի պինդ մարմինը գտնվի հավասարակշռության մեջ, անհրաժեշտ և բավարար է, որ տեղի ունենա երկու պայման` մարմնի վրա ազդող ուժերի երկրաչափական գումարը պետք է հավասար լինի զրոյի և ազդող ուժերի մոմենտների հանրահաշվական գումարը պետք է հավասար լինի զրոյի:

6. Գործնականում կարելի է իրականացնել միայն մարմնի կայուն և անտարբեր հավասարակշռությունը: Մարմնի հավասարակշռությունը կայուն է, եթե հավասարակշռության դիրքից փոքր-ինչ շեղելիս նրա վրա ազդող ուժերն այն վերադարձնում են ելման կետը (այդ դիրքում պոտենցիալ էներգիան ունի նվազագույն արժեք):

7. Հենարանի վրա գտնվող մարմնի հավասարակշռությունը կայուն է, եթե մարմնի ծանրության կենտրոնից տարված ուղղաձիգը հատում է նրա հենման մակերևույթը:

8 ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔԸ



Ներածություն

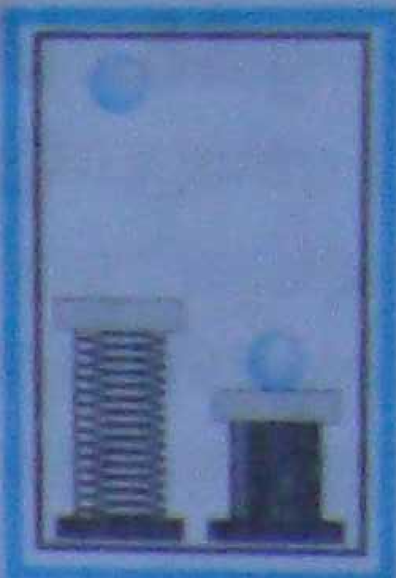
Մեխանիկայի հիմնական խնդիրը լուծելու, այն է՝ մարմնի դիրքը տարածության մեջ ժամանակի կամայական պահին որոշելու համար բավական է իմանալ մարմնի սկզբնական դիրքը, սկզբնական արագությունը և արագացումը: Նյուտոնի օրենքների և բնության ուժերի իմացությունը հնարավորություն է տալիս գտնելու մարմնի արագացումը: Ուստի կարող է թվալ, որ դրանով էլ կարելի է ավարտել մեխանիկայի ուսումնասիրությունը: Բայց շատ դեպքերում մարմնի վրա ազդող ուժերը որոշելը դժվար, երբեմն էլ՝ անհնար է: Օրինակ՝ հայտնի է, որ երկու գնդերի բախման պրոցեսում գնդերը հարվածի հետևանքով դեֆորմացվում են, նրանցում առաջանում են առաձգականության ուժեր, որոնք էլ փոխում են գնդերի արագությունների մոդուլները և ուղղությունները: Բայց գնդերի դեֆորմացիաները բարդ տեսք ունեն, և առաձգականության ուժը որոշելը գործնականորեն անհնար է:

Այսպիսի դեպքերում խնդրի լուծման համար մեխանիկայում ներմուծվել են նոր, հատուկ հասկացություններ ու մեծություններ, որոնք մարմինների փոխազդեցության ընթացքում չեն փոփոխվում: Այդպիսի մեծություններից են **իմպուլսը** և **էներգիան**: Այն պնդումը, որ փոխազդող մարմինների համակարգը որպես ամբողջություն բնութագրող որևէ ֆիզիկական մեծություն ժամանակի ընթացքում պահպանվում է, կրում է ***պահպանման օրենք*** անվանումը:

Մեխանիկայում պահպանման օրենքները մենք կստանանք Նյուտոնի օրենքների օգնությամբ, սակայն դրանք ճշմարտացի են նաև ոչ միայն մեխանիկական երևույթներում, ուստի, ընդհանուր դեպքում, Նյուտոնի օրենքների հետևանք լինել չեն կարող: Նյուտոնի օրենքների նման պահպանման օրենքները փորձնական փաստերի տեսական ընդհանրացման արդյունք են: Պահպանման օրենքները ֆիզիկայի հիմնաբար օրենքներ են: Դրանք բացառիկ կարևոր դեր ունեն, որովհետև կիրառելի են ոչ միայն մեխանիկայում, այլև ֆիզիկայի մյուս բաժիններում:

Պահպանման օրենքներն ուսումնասիրելու համար նախ պետք է պարզենք մարմնի շարժման վիճակի փոփոխության կապը նրա վրա ազդող ուժի տարածական և ժամանակային ազդեցության բնութագրերի հետ: Ուժի տարածական ազդեցությունը բնութագրում է ուժի և տեղափոխության $\vec{F}\cdot\vec{s}$ սկալյար արտադրյալը, իսկ ժամանակային ազդեցությունը՝ ուժի և նրա ազդման տևողության $\vec{F}t$ արտադրյալը: Ուսումնասիրելով $\vec{F}\cdot\vec{s}$ մեծությունը՝ մենք կհանգենք էներգիայի պահպանման օրենքին, իսկ ուսումնասիրելով $\vec{F}t$ մեծությունը՝ իմպուլսի պահպանման օրենքին:

8 ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔԸ



Ներածություն

Մեխանիկայի հիմնական խնդիրը լուծելու, այն է՝ մարմնի դիրքը տարածության մեջ ժամանակի յանկացած պահին որոշելու համար բավական է իմանալ մարմնի սկզբնական դիրքը, սկզբնական արագությունը և արագացումը: Նյուտոնի օրենքների և բնության ուժերի իմացությունը հնարավորություն է տալիս գտնելու մարմնի արագացումը: Ուստի կարող է թվալ, որ դրանով էլ կարելի է ավարտել մեխանիկայի ուսումնասիրությունը: Բայց շատ դեպքերում մարմնի վրա ազդող ուժերը որոշելը դժվար, երբեմն էլ՝ անհնար է: Օրինակ՝ հայտնի է, որ երկու գնդերի բախման պրոցեսում գնդերը հարվածի հետևանքով դեֆորմացվում են, նրանցում առաջանում են առաձգականության ուժեր, որոնք էլ փոխում են գնդերի արագությունների մոդուլները և ուղղությունները: Բայց գնդերի դեֆորմացիաները բարդ տեսք ունեն, և առաձգականության ուժը որոշելը գործնականորեն անհնար է:

Այսպիսի դեպքերում խնդրի լուծման համար մեխանիկայում ներմուծվել են նոր, հատուկ հասկացություններ ու մեծություններ, որոնք մարմինների փոխազդեցության ընթացքում չեն փոփոխվում: Այդպիսի մեծություններից են ***իմպուլսը*** և ***էներգիան***: Այն պնդումը, որ փոխազդող մարմինների համակարգը որպես ամբողջություն բնութագրող որևէ ֆիզիկական մեծություն ժամանակի ընթացքում պահպանվում է, կրում է ***պահպանման օրենք*** անվանումը:

Մեխանիկայում պահպանման օրենքները մենք կստանանք Նյուտոնի օրենքների օգնությամբ. սակայն դրանք ճշմարտացի են նաև ոչ միայն մեխանիկական երևույթներում, ուստի, ընդհանուր դեպքում, Նյուտոնի օրենքների հետևանք լինել չեն կարող: Նյուտոնի օրենքների նման պահպանման օրենքները փորձնական փաստերի տեսական ընդհանրացման արդյունք են: Պահպանման օրենքները ֆիզիկայի հիմնարար օրենքներ են: Դրանք բացառիկ կարևոր դեր ունեն, որովհետև կիրառելի են ոչ միայն մեխանիկայում, այլև ֆիզիկայի մյուս բաժիններում:

Պահպանման օրենքներն ուսումնասիրելու համար նախ պետք է պարզենք մարմնի շարժման վիճակի փոփոխության կապը նրա վրա ազդող ուժի տարածական և ժամանակային ազդեցության բնութագրերի հետ: Ուժի տարածական ազդեցությունը բնութագրում է ուժի և տեղափոխության $\vec{F}\cdot\vec{s}$ սկալյար արտադրյալը, իսկ ժամանակայինը՝ ուժի և նրա ազդման տևողության $\vec{F}t$ արտադրյալը: Ուսումնասիրելով $\vec{F}\cdot\vec{s}$ մեծությունը՝ մենք կհանգենք էներգիայի պահպանման օրենքին, իսկ ուսումնասիրելով $\vec{F}t$ մեծությունը՝ իմպուլսի պահպանման օրենքին:

§ 36. Մեխանիկական աշխատանք: Հաստատուն ուժի աշխատանքը

Ուժի աշխատանք կոչվում է ուժի տարածական ազդեցության քանակական չափը, որը կախված է ուժի ուղղությունից ու մոդուլից և նրա կիրառման կետի տեղափոխությունից:

Կամայական հետագծով շարժվող մարմնի վրա ազդող ***հաստատուն*** $\vec{F}$ ***ուժի կատարած մեխանիկական աշխատանք*** կամ պարզապես ***աշխատանք*** $\vec{s}$ ***տեղափոխության վրա կոչվում է ուժի և տեղափոխության*** $\vec{F}\cdot\vec{s}$ ***սկալյար արտադրյալը:***

Եթե աշխատանքը նշանակենք A տառով, ապա սահմանման համաձայն`

$$A = \vec{F}\cdot\vec{s} : \qquad (8.1)$$

Ինչպես գիտենք (տես § 5), երկու վեկտորների սկալյար արտադրյալը հավասար է նրանց մոդուլների և միմյանց հետ կազմած անկյան կոսինուսի արտադրյալին, ուրեմն հաստատուն ուժի աշխատանքը սկալյար մեծություն է, որը հավասար է ուժի մոդուլի, տեղափոխության մոդուլի և ուժի ու տեղափոխության վեկտորների կազմած անկյան կոսինուսի արտադրյալին (նկ. 94).

$$\boxed{A = \vec{F}\cdot\vec{s} = Fs\cos\alpha} : \qquad (8.2)$$

Քննարկենք հաստատուն ուժի աշխատանքը:

1. Երբ $\alpha = 0°$, ապա $\cos\alpha = 1$,

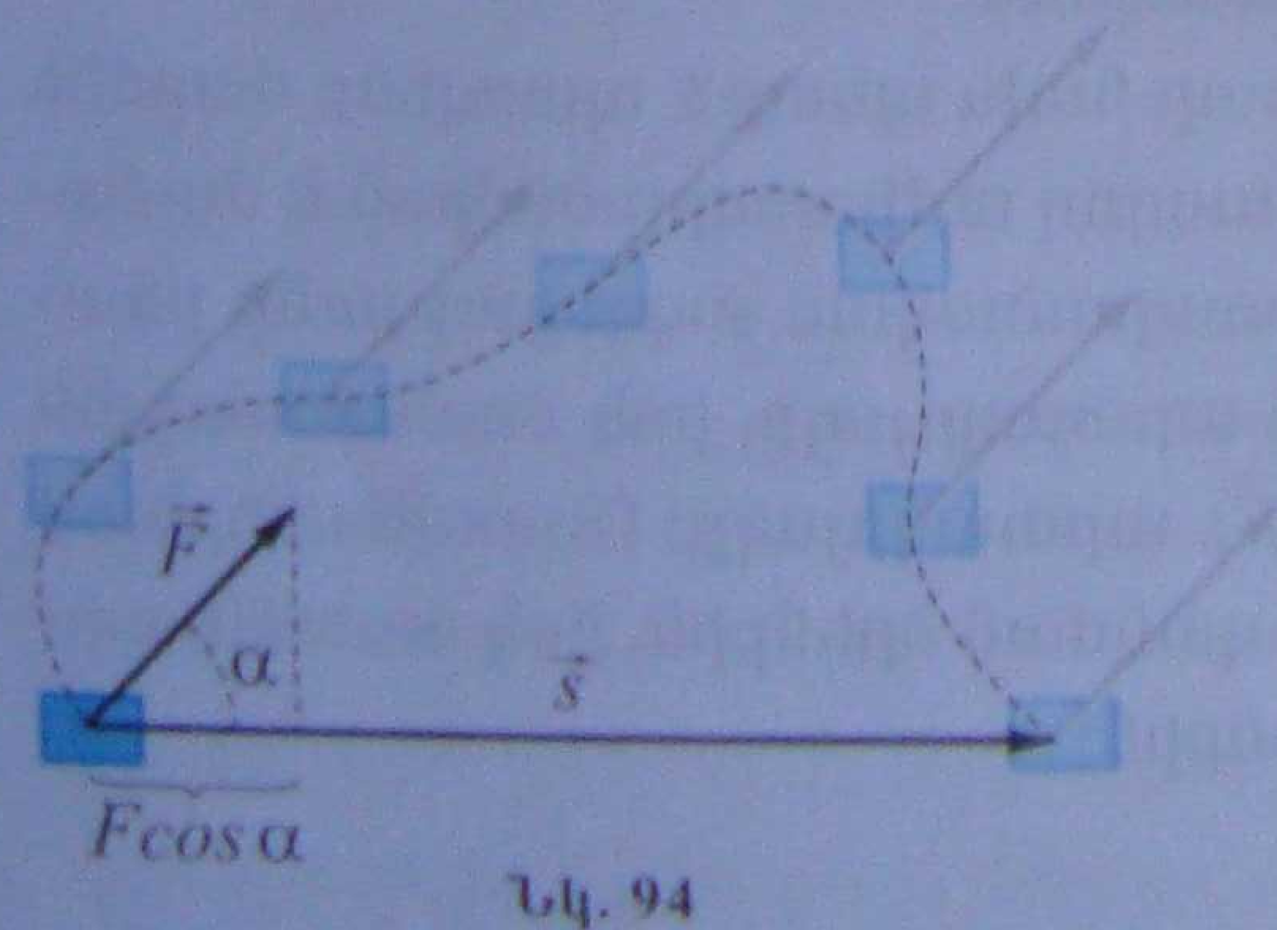
$$A = Fs > 0: \qquad (8.3)$$

Այս դեպքը դուք ուսումնասիրել եք 7-րդ դասարանում: Երբ ուժի ուղղությունը համընկնում է տեղափոխության ուղղության հետ, ապա ուժը կատարում է դրական աշխատանք: Մասնավորապես, մեքենայի շարժման ուղղության հետ համընկնում է նրա շարժիչի զարգացրած քարշի ուժը, ուստի այն կատարում է դրական աշխատանք: Ուժի աշխատանքը դրական է բոլոր այն դեպքերում, երբ ուժի և տեղափոխության կազմած անկյունը սուր է $(0° \le \alpha < 90°)$:

2. Երբ $\alpha = 180°$, ապա $\cos\alpha = -1$, և A աշխատանքը հավասար է`

$$A = -Fs < 0: \qquad (8.4)$$

Սա նշանակում է, որ եթե ուժն ազդում է մարմնի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ, ապա նրա աշխատանքը բացասական է: Մարմնի շարժմանը հակառակ են ուղղված, օրինակ, սահքի և գլորման շփման ուժերը, հեղուկի կամ գազի կողմից նրանցում շարժվող մարմնի վրա ազդող դիմադրության ուժը: Հետևաբար` նշված ուժերի աշխատանքը բացասական է: Ուժի աշխատանքը բացասական է բոլոր այն դեպքերում, երբ ուժի և տեղափոխության կազմած անկյունը բութ է կամ փռված $(90° < \alpha \le 180°)$:



Նկ. 94

3. Երբ $\alpha = 90°$, ապա $\cos\alpha = 0$, և

$$A = Fs\cos\alpha = 0:$$

Ուրեմն` մարմնի տեղափոխությանն ուղղահայաց ազդող ուժը աշխատանք չի կատարում:

Օրինակ՝ աշխատանք չի կատարում հորիզոնական ճանապարհով ընթացող ավտոմեքենայի վրա ազդող ծանրության ուժը: Մարմնի շարժմանն ուղղահայաց ուղղությամբ է ազդում հենարանի կողմից նրա վրա ազդող հակազդեցության ուժը, ուստի, երբ մարմինը շարժվում է անշարժ հենարանի մակերևույթով, հենարանի հակազդեցության ուժի աշխատանքը հավասար է զրոյի: Զրոյի է հավասար նաև ճոճանակի տատանումների ժամանակ գնդիկի վրա ազդող թելի ձգման ուժի աշխատանքը:

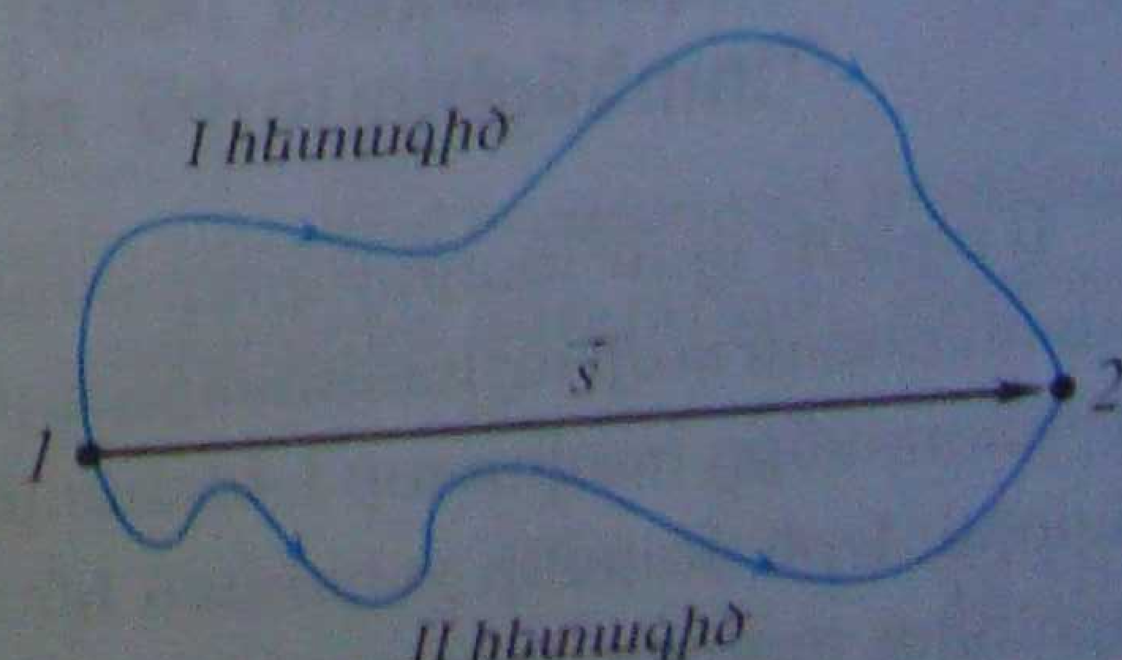
Եթե մարմնի վրա ազդող ուժը՝ $F=0$, այսինքն՝ մարմինը շարժվում է իներցիայով, ապա աշխատանքը՝ $A=0$: Աշխատանքը հավասար է զրոյի նաև այն դեպքում, երբ F ուժն ազդում է անշարժ մարմնի վրա: Այսպիսով՝ ***աշխատանք կարող է կատարել միայն շարժվող մարմնի վրա ազդող և շարժման արագության հետ 90°-ից տարբեր անկյուն կազմող ուժը:***

Ինչպես գիտենք, ուժը մարմինների փոխազդեցության բնութագիրն է, և եթե տվյալ մարմնի վրա ուժ է ազդում, ապա այն բնութագրում է մեկ այլ մարմնի ազդեցությունը: Այս պատճառով հաճախ խոսում են ոչ թե ուժի աշխատանքի, այլ այդ ուժն առաջ բերող ***մարմնի աշխատանքի*** մասին: Օրինակ, երբ տղան քաշում է սահնակը (նկ. 95), «սահնակի վրա ազդող պարանի ձգվածության ուժի աշխատանք» ասելու փոխարեն կարճ ասում են «տղայի աշխատանք»:

Հաստատուն ուժի աշխատանքի սահմանումից բխում են աշխատանքի հետևյալ կարևոր հատկությունները՝

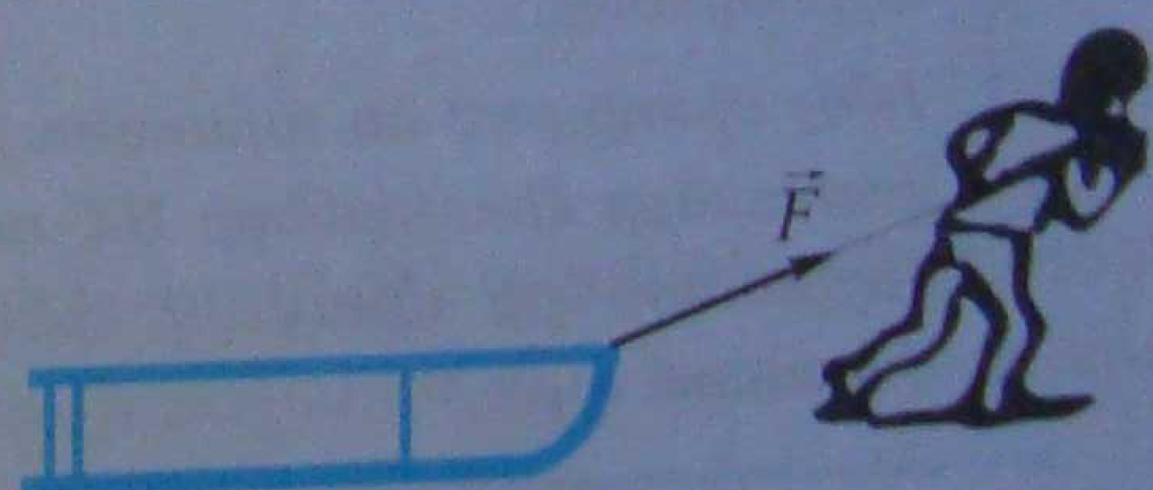
1. ***Հաստատուն ուժի աշխատանքը կախված չէ մարմնի շարժման հետագծի ձևից:*** Սա աշխատանքի սահմանման պարզ հետևանք է: Չէ՞ որ աշխատանքը սահմանվում է տեղափոխության միջոցով, որը կախված է միայն մարմնի սկզբնական ու վերջնական դիրքերից և կախված չէ այն բանից, թե ինչ հետագծով է մարմինը մի կետից տեղափոխվել մյուս կետը: Ինչ տեսք էլ ունենա մարմնի շարժման հետագիծը (նկ. 96), նրա կատարած $\vec{s}$ տեղափոխությունը մարմնի սկզբնական դիրքը վերջնական դիրքին միացնող վեկտորն է, որը բոլոր դեպքերում նույնն է, ուստի նույնն է նաև ուժի և տեղափոխության սկալյար արտադրյալով որոշվող $A=\vec{F}\cdot\vec{s}$ աշխատանքը:

2. ***Հաստատուն ուժի աշխատանքը կամայական փակ հետագծով հավասար է զրոյի:*** Իրոք, եթե մարմինը շարժվում է փակ հետագծով, ապա նրա կատարած տեղափոխությունը՝ $\vec{s}=0$, հետևաբար՝ $A=\vec{F}\cdot\vec{s}=0$:



Նկ. 95

3. ***Ամբողջ հետագծի երկայնքով հաստատուն ուժի աշխատանքը հավասար է հետագծի առանձին տեղամասերում այդ ուժի աշխատանքների գումարին:*** Եթե, օրինակ, մարմինը, որի վրա ազդում է $\vec{F}$ հաստատուն ուժը, A կետից C կետ տեղափոխվում է ABC հետագծով (նկ. 97), ապա հետագծի AB և BC հատվածներում $\vec{F}$ ուժի A_1 և A_2 աշխատանքները համապատասխանաբար հավասար են՝



Նկ. 96

$A_1=\vec{F}\cdot\vec{s}_1$ և $A_2=\vec{F}\cdot\vec{s}_2$, ուստի՝

$$A_1+A_2=\vec{F}\cdot\vec{s}_1+\vec{F}\cdot\vec{s}_2=\vec{F}\cdot(\vec{s}_1+\vec{s}_2):$$

Օրինակ՝ աշխատանք չի կատարում հորիզոնական ճանապարհով ընթացող ավտոմեքենայի վրա ազդող ծանրության ուժը: Մարմնի շարժմանն ուղղահայաց ուղղությամբ է ազդում հենարանի կողմից նրա վրա ազդող հակազդեցության ուժը, ուստի, երբ մարմինը շարժվում է անշարժ հենարանի մակերևույթով, հենարանի հակազդեցության ուժի աշխատանքը հավասար է զրոյի: Զրոյի է հավասար նաև ճոճանակի տատանումների ժամանակ գնդիկի վրա ազդող թելի ձգման ուժի աշխատանքը:

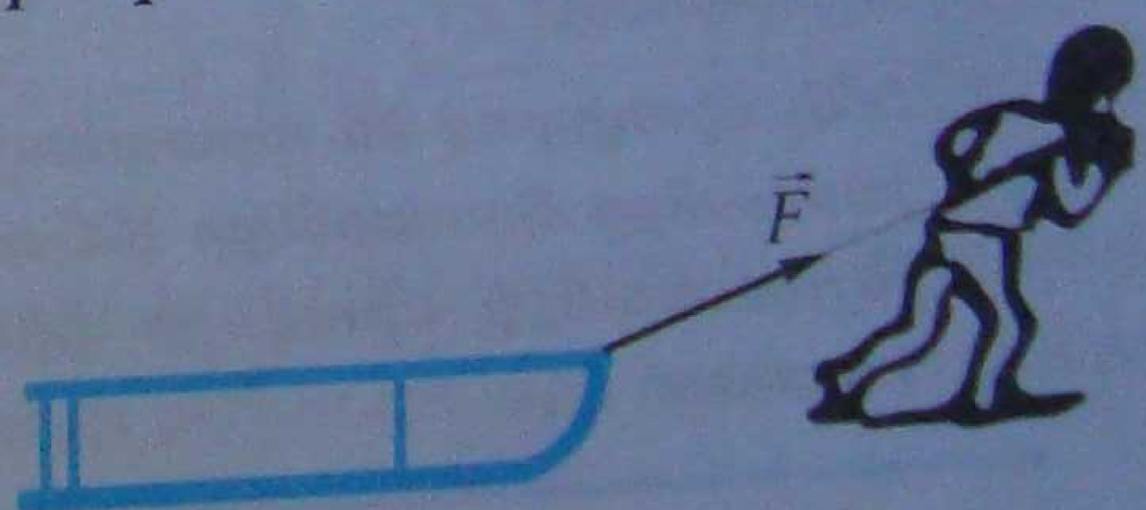
Եթե մարմնի վրա ազդող ուժը՝ $F=0$, այսինքն՝ մարմինը շարժվում է իներցիայով, ապա աշխատանքը՝ $A=0$: Աշխատանքը հավասար է զրոյի նաև այն դեպքում, երբ F ուժն ազդում է անշարժ մարմնի վրա: Այսպիսով՝ ***աշխատանք կարող է կատարել միայն շարժվող մարմնի վրա ազդող և շարժման արագության հետ 90°-ից տարբեր անկյուն կազմող ուժը:***

Ինչպես գիտենք, ուժը մարմինների փոխազդեցության բնութագիրն է, և եթե տվյալ մարմնի վրա ուժ է ազդում, ապա այն բնութագրում է մեկ այլ մարմնի ազդեցությունը: Այս պատճառով հաճախ խոսում են ոչ թե ուժի աշխատանքի, այլ այդ ուժն առաջ բերող ***մարմնի աշխատանքի*** մասին: Օրինակ, երբ տղան քաշում է սահնակը (նկ. 95), «սահնակի վրա ազդող պարանի ձգվածության ուժի աշխատանք» ասելու փոխարեն կարճ ասում են «տղայի աշխատանք»:

Հաստատուն ուժի աշխատանքի սահմանումից բխում են աշխատանքի հետևյալ կարևոր հատկությունները՝

1. *Հաստատուն ուժի աշխատանքը կախված չէ մարմնի շարժման հետագծի ձևից:* Սա աշխատանքի սահմանման պարզ հետևանք է: Չէ՞ որ աշխատանքը սահմանվում է տեղափոխության միջոցով, որը կախված է միայն մարմնի սկզբնական ու վերջնական դիրքերից և կախված չէ այն բանից, թե ինչ հետագծով է մարմինը մի կետից տեղափոխվել մյուս կետը: Ինչ տեսք էլ ունենա մարմնի շարժման հետագիծը (նկ. 96), նրա կատարած $\vec{s}$ տեղափոխությունը մարմնի սկզբնական դիրքը վերջնական դիրքին միացնող վեկտորն է, որը բոլոր դեպքերում նույնն է, ուստի նույնն է նաև ուժի և տեղափոխության սկալյար արտադրյալով որոշվող $A=\vec{F}\cdot\vec{s}$ աշխատանքը:

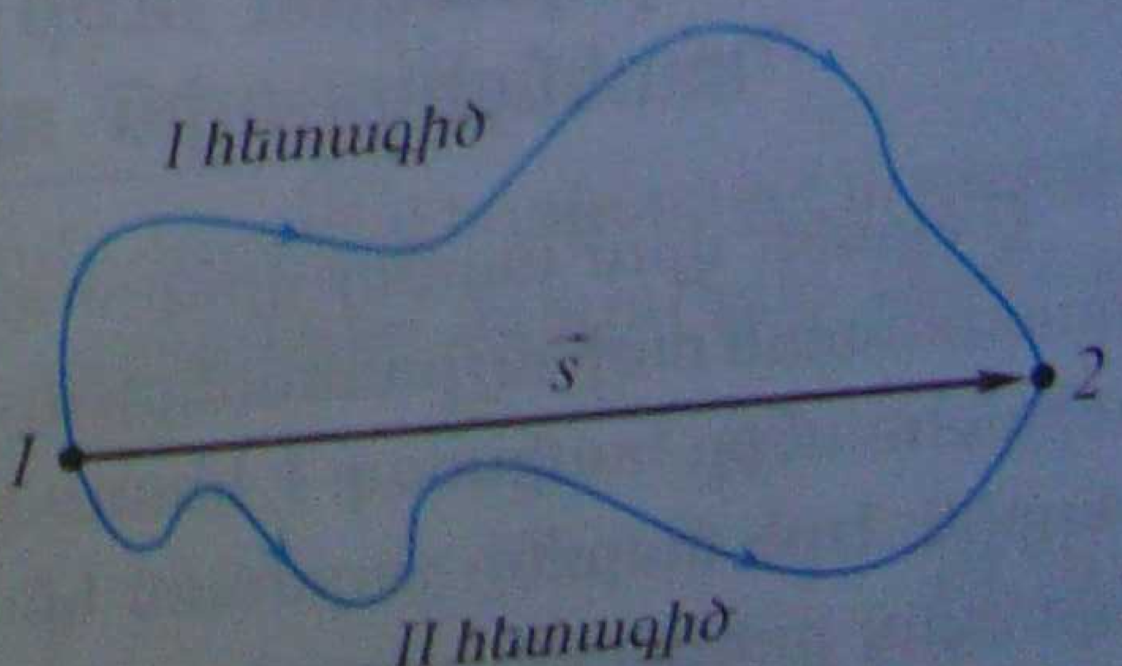
2. *Հաստատուն ուժի աշխատանքը կամայական փակ հետագծով հավասար է զրոյի:* Իրոք, եթե մարմինը շարժվում է փակ հետագծով, ապա նրա կատարած տեղափոխությունը՝ $\vec{s}=0$, հետևաբար՝ $A=\vec{F}\cdot\vec{s}=0$:



Նկ. 95

3. *Ամբողջ հետագծի երկայնքով հաստատուն ուժի աշխատանքը հավասար է հետագծի առանձին տեղամասերում այդ ուժի աշխատանքների գումարին:* Եթե, օրինակ, մարմինը, որի վրա ազդում է $\vec{F}$ հաստատուն ուժը, A կետից C կետ տեղափոխվում է ABC հետագծով (նկ. 97), ապա հետագծի AB և BC հատվածներում $\vec{F}$ ուժի A_1 և A_2 աշխատանքները համապատասխանաբար հավասար են՝

$A_1=\vec{F}\cdot\vec{s}_1$ և $A_2=\vec{F}\cdot\vec{s}_2$, ուստի՝

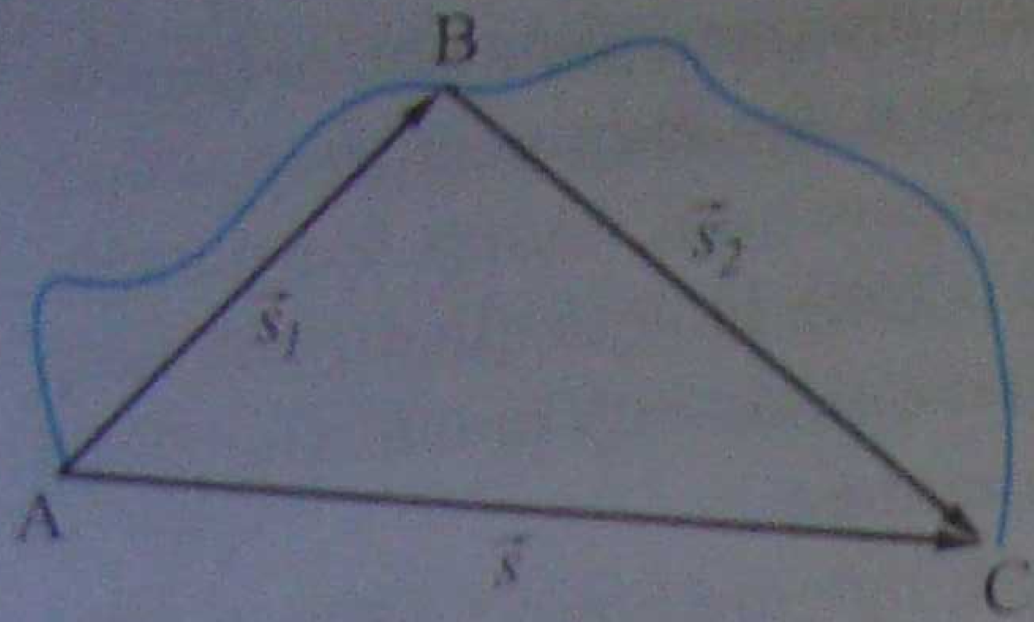


Նկ. 96

$$A_1+A_2=\vec{F}\cdot\vec{s}_1+\vec{F}\cdot\vec{s}_2=\vec{F}\cdot(\vec{s}_1+\vec{s}_2):$$

Բայց $(\vec{s}_1 + \vec{s}_2)$ -ը մարմնի կատարած ամբողջ $\vec{s}$ տեղափոխությունն է, հետևաբար՝

$$A = A_1 + A_2 \tag{8.5}$$



Նկ. 97

Հաստատուն ուժի օրինակ է Երկրի մակերևույթին մոտ շարժվող մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժը: Հետևաբար՝ մարմինը Երկրի մակերևույթից h_1 բարձրության վրա գտնվող A կետից (նկ. 98) h_2 բարձրության վրա գտնվող B կետ տեղափոխվելիս ***ծանրության ուժի աշխատանքը կախված չէ հետագծի ձևից*** և հավասար է՝

$$A = mgs\cos\alpha:$$

Նկ. 98

Նկ. 98-ից երևում է, որ $s\cos\alpha = h_1 - h_2$, ուստի՝

$$A = mg(h_1 - h_2) \tag{8.6}$$

Երբ $h_2 < h_1$, ապա $A > 0$, այսինքն՝ դեպի ներքև շարժվող մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժի աշխատանքը դրական է: Ընդհակառակը, երբ մարմինը դեպի վեր է բարձրանում, ծանրության ուժը կատարում է բացասական աշխատանք:

Աշխատանքի սահմանումից հետևում է նրա միավորը ՄՀ-ում.

$$[A] = [F][s] = 1\,Ն\,մ = 1\,Ջ(ջոուլ):$$

1 Ջ-ն այն աշխատանքն է, որը 1 Ն հաստատուն ուժը կատարում է իր ազդման ուղղությամբ 1 մ տեղափոխության վրա:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչն են անվանում մեխանիկական աշխատանք:*
2. *Ինչ միավորով են արտահայտում աշխատանքը միավորների ՄՀ-ում: Որն է աշխատանքի միավորի ֆիզիկական իմաստը:*
3. *Որ դեպքում է մարմնի վրա ազդող ուժի աշխատանքը՝ ա) դրական, բ) բացասական, գ) հավասար զրոյի:*
4. *Որոնք են հաստատուն ուժի աշխատանքի երեք հատկությունները:*

§ 37. Փոփոխական ուժի աշխատանքը: Պոտենցիալային ուժեր

Մարմնի վրա ազդող փոփոխական ուժի աշխատանքը սահմանելիս հիմնվում են հաստատուն ուժի աշխատանքի այն հատկության վրա, որ ամբողջ հետագծի երկայնքով աշխատանքը հավասար է հետագծի առանձին տեղամասերում աշխատանքների գումարին: Եթե մարմնի շարժման հետագիծը մտովի բաժանենք այնպիսի տեղամասերի, որոնցից յուրաքանչյուրում ուժը հնարավոր լինի համարել հաստատուն, ապա յուրաքանչյուր տեղամասի համար կարելի է որոշել այդ հաստատուն ուժերի $A_1, A_2, ..., A_n$

աշխատանքները: Այդ աշխատանքների գումարը կոչվում է փոփոխական ուժի A աշխատանք ամբողջ հետագծի երկայնքով՝

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n: \qquad (8.7)$$

Դիցուք՝ k կոշտությամբ զսպանակի վրա ազդող $\vec{F}_1$ արտաքին ծգող ուժի ազդեցության տակ զսպանակի երկարացումը x_1 է (նկ. 99): Աստիճանաբար փոխելով արտաքին ուժի մեծությունը մինչև $\vec{F}_2$՝ զսպանակի երկարացումը դարձնենք x_2 և հաշվենք այդ ընթացքում առաձգականության ուժի կատարած աշխատանքը:

Եթե $[x_1, x_2]$ միջակայքը բաժանենք n հավասար մասերի, ապա դրանցից յուրաքանչյուրում տեղափոխության պրոյեկցիան հավասար կլինի՝

Նկ. 99

$$\Delta x = \frac{x_2 - x_1}{n}: \qquad (8.8)$$

Եթե n-ը բավականաչափ մեծ թիվ է, ապա փոքր տեղամասերից յուրաքանչյուրում առաձգականության ուժը կարելի կլինի համարել հաստատուն, ընդ որում, համաձայն Հուկի օրենքի, առաջին տեղամասում՝ $F_{шп.1x} = -k(x_1+\Delta x)$, երկրորդում՝ $F_{шп.2x} = -k(x_1+2\Delta x)$, երրորդում՝ $F_{шп.3x} = -k(x_1+3\Delta x)$ և այլն, վերջին՝ n-րդ տեղամասում՝ $F_{шп.nx} = -k(x_1+n\Delta x)$:

Օգտվելով վեկտորների սկալյար արտադրյալի (1.14) բանաձևից՝ առաձգականության ուժի աշխատանքի համար կստանանք՝

$$A = A_1+A_2+A_3+\dots+A_n = F_{шп.1x}\Delta x + F_{шп.2x}\Delta x + F_{шп.3x}\Delta x + \dots + F_{шп.nx}\Delta x =$$
$$= -k\Delta x(x_1+\Delta x + x_1 + 2\Delta x + x_1 + 3\Delta x + \dots + x_1 + n\Delta x) =$$
$$= -k\Delta x(nx_1 + \Delta x(1+2+3+\dots+n)):$$

(8.8) արտահայտությունից՝ $n\Delta x = x_2 - x_1$, իսկ 1-ից մինչև n բնական թվերի գումարը հավասար է $n(n+1)/2$, հետևաբար՝

$$A = -k(x_2-x_1)\left(x_1 + \frac{x_2-x_1}{2}\cdot\frac{n+1}{n}\right) = -k(x_2-x_1)\left(x_1+\frac{x_2-x_1}{2}\left(1+\frac{1}{n}\right)\right):$$

Շատ մեծ n-ի դեպքում $1/n$ անդամը 1-ի նկատմամբ կարելի է անտեսել: Որոշ պարզ ձևափոխություններից հետո առաձգականության ուժի աշխատանքի համար ստանում ենք հետևյալ արտահայտությունը՝

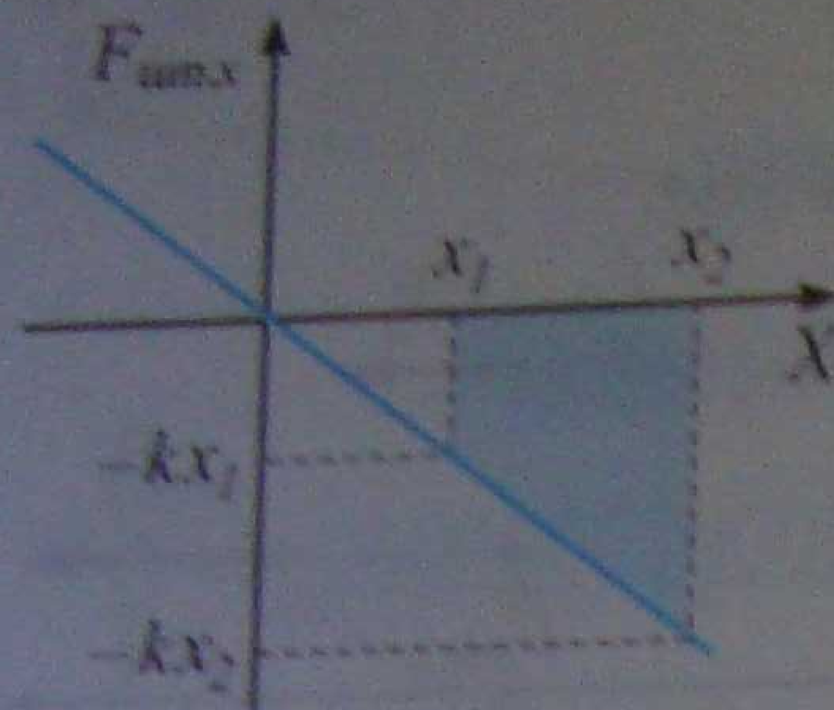
$$A = -\frac{k(x_2-x_1)}{2}(x_2+x_1) = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right): \qquad (8.9)$$

Ինչպես տեսանք § 25-ում, առաձգականության ուժը մոդուլով հավասար է արտաքին ուժին և ուղղված է նրան հակառակ, հետևաբար՝ զսպանակը ձգելու(կամ սեղմելու) ընթացքում արտաքին ուժը կատարում է

$$A' = \left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right) \qquad (8.10)$$

աշխատանք:

Առաձգականության ուժի կատարած աշխատանքը կարելի էր հաշվել նաև օգտվելով փոփոխական ուժի միջին արժեքից: Քանի որ առաձգականության ուժի և տեղափոխության վեկտորները դասավորված են X առանցքի երկայնքով, ապա, հաշվի առնելով (1.1) հավասարումը, առաձգականության ուժի կատարած աշխատանքը կարող ենք հաշվել հետևյալ բանաձևով՝



Նկ. 100

$$A = F_{առ.միջ} s_x ; \quad (8.11)$$

Հուկի օրենքից՝ $F_{առ.x} = -kx$, այսինքն՝ առաձգականության ուժը x-ից կախված է գծայնորեն (նկ. 100), ուստի նրա միջին արժեքը հավասար է սկզբնական և վերջնական արժեքների միջին թվաբանականին՝

$$F_{առ.միջ} = \frac{-kx_1 + (-kx_2)}{2} = -\frac{k(x_1 + x_2)}{2} ; \quad (8.12)$$

Տեղափոխության պրոյեկցիան X առանցքի վրա՝

$$s_x = x_2 - x_1 ; \quad (8.13)$$

Տեղադրելով (8.12) և (8.13) արտահայտությունները (8.11)-ի մեջ՝ կստանանք առաձգականության ուժի կատարած աշխատանքի (8.9) բանաձևը: Նույն արդյունքը կստանանք, եթե հաշվենք առաձգականության ուժի պրոյեկցիայի գրաֆիկով սահմանափակված պատկերի մակերեսը (նկ. 100):

(8.9) բանաձևից հետևում է, որ եթե $x_2 = x_1$, ապա $A = 0$, այսինքն՝ եթե զսպանակը ձգենք, հետո սեղմենք այնպես, որ նրա ծայրը վերադառնա սկզբնական դիրքին (շարժվի փակ հետագծով), ապա առաձգականության ուժի կատարած աշխատանքը հավասար կլինի զրոյի: Սա նշանակում է, որ հաստատուն ուժի աշխատանքի երկրորդ հատկությամբ օժտված է նաև առաձգականության ուժի աշխատանքը:

Սակայն առաձգականության ուժը միակ փոփոխական ուժը չէ, որի աշխատանքը փակ հետագծով հավասար է զրոյի: Այդպիսի հատկություն ունեն նաև գրավիտացիոն ուժերը, մասնավորապես՝ ծանրության ուժը, եթե նույնիսկ հաշվի առնենք այն հանգամանքը, որ մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժն իրականում հաստատուն չէ, այլ կախված է մարմնի աշխարհագրական դիրքից և Երկրի մակերևույթից ունեցած բարձրությունից: Փակ հետագծի երկայնքով ուժի աշխատանքի զրո լինելու պայմանից հետևում է, որ այդ ուժի աշխատանքը կախված չէ մարմնի հետագծի ձևից, այլ կախված է միայն նրա կիրառման կետի սկզբնական և վերջնական դիրքերից:

Ուժը կոչվում է պոտենցիալային, եթե նրա կատարած աշխատանքը կախված է միայն նրա կիրառման կետի սկզբնական ու վերջնական դիրքերից և կախված չէ հետագծի տեսքից:

Այսպիսով, ծանրության և առաձգականության ուժերը պոտենցիալային ուժեր են:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում փոփոխական ուժի աշխատանք:*
2. *Ինչի՞ է հավասար առաձգականության ուժի աշխատանքը, եթե k կոշտությամբ զսպանակի երկարացումը x_1-ից դառնում է x_2:*
3. *Ո՞ր ուժերն են կոչվում պոտենցիալային ուժեր:*

§ 38. Օգտակար գործողության գործակից (ՕԳԳ): Հզորություն: Հզորության կապն ուժի և արագության հետ

Մեխանիկական աշխատանք կատարելու նպատակով մարդու կողմից ստեղծված են զանազան մեխանիզմներ և մեքենաներ: Այն աշխատանքը, որի կատարման համար ստեղծված է մեխանիզմը, կոչվում է *օգտակար աշխատանք*: Օրինակ՝ վերամբարձ կռունկը ստեղծվել է բեռներ բարձրացնելու նպատակով: Բայց սանկացած օգտակար աշխատանք կատարելուն զուգընթաց, բոլոր մեխանիզմները ստիպված են լինում լրացուցիչ (անօգուտ) աշխատանք կատարել, օրինակ՝ շփման և դիմադրության ուժերը հաղթահարելու համար, որոնք առկա են ամենուրեք: Այդ պատճառով կատարված A լրիվ աշխատանքը միշտ անօգուտ աշխատանքի չափով մեծ է լինում $A_{օգ}$ օգտակար աշխատանքից, այսինքն՝ $A_{օգ} < A$: Մեխանիզմների և մեքենաների կարևոր բնութագիր է *օգտակար գործողության գործակիցը*, որն արտահայտվում է $A_{օգ}$ օգտակար աշխատանքի և A լրիվ աշխատանքի միջոցով: 7-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացից դուք գիտեք, որ ***մեխանիզմի օգտակար գործողության գործակից (կարճ՝ ՕԳԳ) կոչվում է օգտակար աշխատանքի հարաբերությունը լրիվ աշխատանքին:*** Այսպիսով, սահմանման համաձայն, ՕԳԳ-ն՝

$$\eta = \frac{A_{օգ}}{A} : \qquad (8.14)$$

ՕԳԳ-ն սովորաբար արտահայտում են տոկոսներով. այդ դեպքում՝

$$\eta(\%) = \frac{A_{օգ}}{A} \cdot 100\% : \qquad (8.15)$$

Քանի որ $A_{օգ} < A$, ապա $\eta < 1$, և ՕԳԳ-ն միշտ փոքր է 100% -ից: ՕԳԳ-ի մեծացումը տեխնիկական կարևոր խնդիր է: Այդ նպատակով ձգտում են փոքրացնել շփումն ու դիմադրությունը՝ կիրառելով զանազան քսայուղեր, շարժվող մարմիններին տալով շրջհոսելի ձևեր և այլն:

7-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացից ձեզ հայտնի է նաև, որ միևնույն աշխատանքը տարբեր մեխանիզմներ կարող են կատարել տարբեր ժամանակամիջոցներում. մեկն արագ, մի ուրիշը՝ ավելի դանդաղ: Աշխատանքի կատարման արագությունը բնութագրվում է *հզորությամբ*: ***Հզորություն կոչվում է այն ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է A աշխատանքի հարաբերությանն այն ժամանակամիջոցին, որի ընթացքում կատարվել է այդ աշխատանքը՝***

$$N = \frac{A}{t} : \qquad (8.16)$$

Հզորության ֆիզիկական իմաստը բխում է (8.16) սահմանումից. հզորությունը ցույց է տալիս, թե ինչ աշխատանք է կատարվում միավոր ժամանակամիջոցում:

Քանի որ աշխատանքը և ժամանակամիջոցը սկալյար մեծություններ են, ապա հզորությունը նույնպես սկալյար ֆիզիկական մեծություն է:

ՄՀ-ում հզորության միավորի համար (8.16) բանաձևից ստացվում է՝

$$[N] = \frac{[A]}{[t]} = 1\frac{Ջ}{վ} = 1 \text{ Վտ (վատտ)} :$$

Հզորությունը հավասար է 1 Վտ-ի, եթե 1 Ջ աշխատանքը կատարվում է 1 վ-ում: Հզորությունը և ՕԳԳ-ն սովորաբար նշվում են մեքենաների ու մեխանիզմների տեխնիկական տեղեկաթերթիկներում:

(8.16) բանաձևով սահմանվող հզորությունն ունի միջին հզորության իմաստ: Սակայն տրված ժամանակամիջոցի տարբեր մասերում մեքենան կարող է զարգացնել տարբեր հզորություններ: Տվյալ պահին, այսինքն՝ ակնթարթային հզորությունը գտնելու համար (8.16) բանաձևը հարկ է արտահայտել բավականաչափ փոքր Δt ժամանակամիջոցում կատարված ΔA աշխատանքի միջոցով՝

$$\boxed{N = \frac{\Delta A}{\Delta t}} : \qquad (8.17)$$

Նկատի ունենալով ակնթարթային արագության սահմանումը՝ $\vec{v} = \Delta\vec{s}/\Delta t$, և աշխատանքի սահմանումը, (8.17) բանաձևից կստանանք՝

$$\boxed{N = \vec{F}_p \cdot \vec{v}} , \qquad (8.18)$$

որտեղ $\vec{F}_p$ -ն շարժիչի քարշի ուժն է: (8.18) բանաձևը ճիշտ է ամենաընդհանուր դեպքում՝ ինչպես փոփոխվող քարշի ուժի, այնպես էլ փոփոխվող արագության համար:

(8.18) բանաձևից բխում է, որ շարժիչի հաստատուն հզորության դեպքում նրա զարգացրած քարշի ուժը հակադարձ համեմատական է արագությանը: Որքան մեծ է արագությունը, այնքան փոքր է քարշի ուժը: Փոքրացնելով կամ մեծացնելով արագությունը՝ կարելի է մեծացնել կամ փոքրացնել քարշի ուժը: Դա լայնորեն կիրառվում է ժամանակակից տեխնիկայում մեխանիզմների և մեքենաների արագությունների փոխանցման տուփի միջոցով: Օրինակ՝ սար բարձրանալիս, երբ մեծ քարշի ուժ է պահանջվում, ավտոմեքենայի վարորդն արագությունների փոխանցման տուփի միջոցով նվազեցնում է ավտոմեքենայի արագությունը, իսկ հորիզոնական ճանապարհին, ընդհակառակը, մեծացնում: Մարզական հեծանիվների արագությունը կարգավորվում է տարբեր շառավիղներով մի քանի աստղանիվի կիրառմամբ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում հզորություն:*
2. *Ի՞նչ միավորով են արտահայտում հզորությունը ՄՀ-ում:*
3. *Աշխատանքի արտահամակարգային միավորը՝ 1 կՎտ-ժ-ը, արտահայտել ջոուլներով:*
4. *Ինչպե՞ս է կախված ջերմաքարշի արագությունը նրա հզորությունից:*

§ 39. Աշխատանք և էներգիա: Կինետիկ էներգիա: Կինետիկ էներգիայի թեորեմը

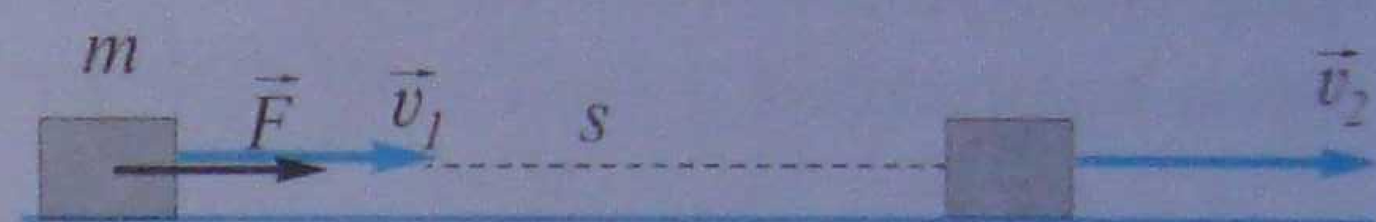
Ինչպես գիտենք, մատերիայի հիմնական հատկություններից մեկը շարժումն է: Շարժման ընդհանուր քանակական չափը ***էներգիան*** է (հունարեն «էներգիա»՝ գործունեություն բառից): Մատերիայի շարժման տարբեր տեսակներին համապատասխան տարբերում են մեխանիկական, ջերմային, էլեկտրամագնիսական, քիմիական, միջուկային և այլ տեսակի էներգիաներ: ***Էներգիան ոչնչից չի ստեղծվում և չի անհետանում, այն կարող է միայն մի տեսակից փոխակերպվել մի այլ տեսակի:***

Համակարգի էներգիան կարելի է փոփոխել աշխատանքի կատարման պրոցեսում (§ 72-ում կուսումնասիրենք էներգիայի փոփոխման մի այլ եղանակ՝ ջերմափոխանակությունը): Ուրեմն՝ աշխատանքը պրոցես է, որի ընթացքում ուժերի ազդեցության տակ փոփոխվում է էներգիան, իսկ աշխատանքն էներգիայի փոփոխության քանակական չափն է:

Մեխանիկական էներգիան ցույց է տալիս, թե ինչ աշխատանք կարող է կատարել մարմինը (կամ մարմիններից կազմված համակարգը): Այս և հաջորդ պարագրաֆներում մենք ցույց կտանք, որ աշխատանք կարող են կատարել ինչպես շարժվող, այնպես էլ այլ մարմինների հետ փոխազդող մարմինները, ուստի մեխանիկայում տարբերում են երկու տեսակի էներգիա՝ ***կինետիկ*** և ***պոտենցիալ***:

Մարմնի շարժմամբ պայմանավորված էներգիան անվանում են կինետիկ էներգիա: Եթե մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում, ապա նրա կինետիկ էներգիան հավասար է զրոյի: Ակներև է, որ կինետիկ էներգիան պետք է կախված լինի մարմնի շարժման v արագությունից:

Մարմնի կինետիկ էներգիայի արտահայտությունը ստանալու համար նախ պարզենք, թե մարմնի վրա ազդող ուժի աշխատանքն ինչ ազդեցություն է թողնում նրա շարժման արագության վրա:



Նկ. 101

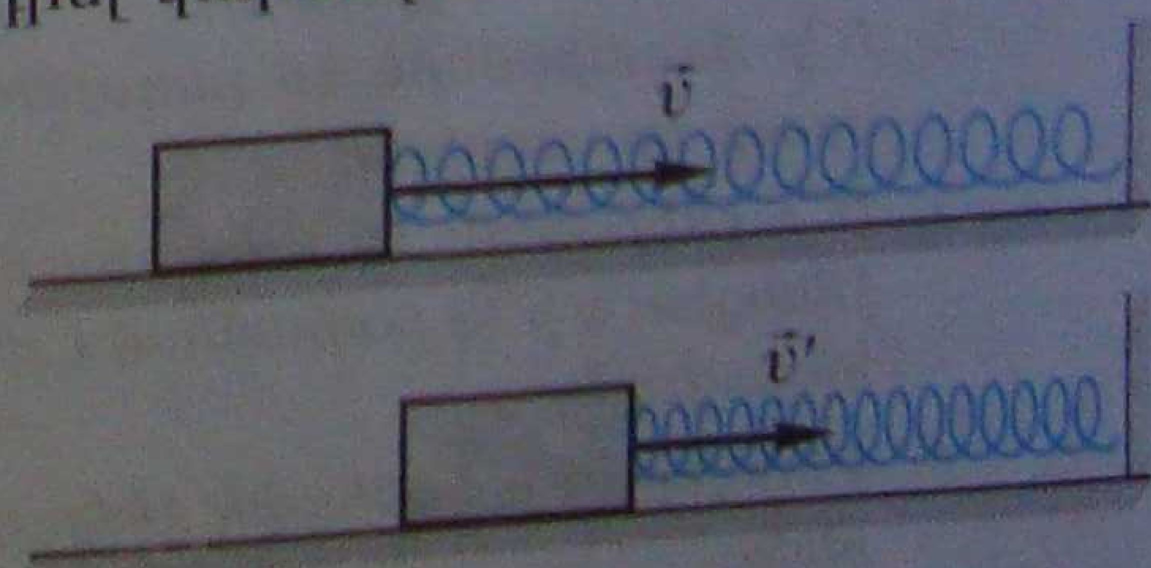
Ենթադրենք՝ v_1 արագությամբ շարժվող m զանգվածով մարմնի վրա նրա շարժման ուղղությամբ ազդում է $\vec{F}$ հաստատուն ուժ (նկ. 101): Մարմինը կկատարի ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում, և s ճանապարհի վրա ուժի կատարած աշխատանքը՝

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs: \qquad (8.19)$$

Նյուտոնի երկրորդ օրենքից՝ $F = ma$, իսկ հավասարաչափ արագացող շարժման կինեմատիկական հավասարումներից՝ $s = (v_2^2 - v_1^2)/2a$: Տեղադրելով (8.19) հավասարման մեջ՝ կստանանք՝

$$A = ma \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}: \qquad (8.20)$$

Ստացվեց, որ մարմնի վրա ազդող ուժի աշխատանքը հավասար է մի ֆիզիկական մեծության փոփոխության, որը որոշվում է մարմնի զանգվածի և շարժման արագության քառակուսու արտադրյալի կեսով: Կարելի է ցույց տալ, որ այս արդյունքը ճիշտ է ոչ միայն մարմնի շարժման ուղղությամբ ազդող հաստատուն ուժի, այլև կամայական ուժի դեպքում: Օգտվելով ստացված արդյունքից՝ պարզենք, թե ինչ աշխատանք կարող է կատարել շարժվող մարմինը: Դա հեշտ է ցուցադրել փորձով:



Նկ. 102

Հորիզոնական հարթ մակերևույթի վրայով v արագությամբ շարժվող m զանգվածով մարմինը, հասնելով պատին ամրացված զսպանակին (նկ.102), իներցիայի շնորհիվ կշարունակի շարժվել դեպի աջ՝ սեղմելով զսպանակը: Դրա հետևանքով զսպանակում առաջացած առաձգա-

կանության ուժը կդանդաղեցնի մարմնի շարժումը: Արագությունը մինչև v' դառնալը կատարյալ ուժը կդանդաղեցնի մարմնի շարժումը: Արագությունը մինչև v' դառնալը (8.20) զսպանակի կողմից շորսուի վրա ազդող առաձգականության ուժը կկատարի (8.20) բանաձևով որոշվող A աշխատանք: Բայց, համաձայն Նյուտոնի երրորդ օրենքի, ինչ ուժով զսպանակն է ազդում մարմնի վրա, մոդուլով նրան հավասար, ուղղությամբ՝ հակադիր ուժով էլ մարմինն է ազդում զսպանակի վրա, և զսպանակի սեղմման վրա այդ ուժը կատարում է $A' = -A$ աշխատանք: Քանի որ A'-ը մարմնի կողմից ազդող ուժի աշխատանքն է, ապա ասում են, որ այդ աշխատանքը կատարում է մարմինը: Ուրեմն՝ մարմնի կատարած աշխատանքը՝

$$A' = -\left(\frac{mv'^2}{2} - \frac{mv^2}{2}\right) = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv'^2}{2}\,: \qquad (8.21)$$

Ստացված բանաձևից հետևում է, որ մինչև կանգ առնելը ($v' = 0$) մարմինը կարող է կատարել $mv^2/2$ աշխատանք: Ուրեմն՝ այն ֆիզիկական մեծությունը, որի մասին խոսվել մարմնի վրա ազդող ուժերի կատարած աշխատանքի ազդեցությունը մարմնի շարժման արագության վրա ուսումնասիրելիս, կինետիկ էներգիան է:

Այսպիսով՝ ***v* արագությամբ շարժվող *m* զանգվածով մարմնի կինետիկ էներգիան՝**

$$E_կ = \frac{mv^2}{2}, \qquad (8.22)$$

հավասար է այն աշխատանքին, որը կարող է կատարել շարժվող մարմինը մինչև կանգ առնելը:

(8.20) բանաձևի մեջ տեղադրելով կինետիկ էներգիայի արտահայտությունը՝ կստանանք՝

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = E_{կ2} - E_{կ1} = \Delta E_կ\,: \qquad (8.23)$$

Մարմնի վրա ազդող ուժերի համազորի աշխատանքը հավասար է մարմնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությանը: Այս պնդումը կոչվում է **կինետիկ էներգիայի թեորեմ:**

(8.23) բանաձևի համաձայն, եթե ազդող ուժերի համազորի աշխատանքը դրական է՝ $A > 0$, ապա մարմնի կինետիկ էներգիան մեծանում է այդ աշխատանքի չափով: Եվ հակառակը՝ մարմնի կինետիկ էներգիան նվազում է, եթե ուժերի համազորի աշխատանքը բացասական է՝ $A < 0$:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ ենք հասկանում, ասելով՝ մարմինն օժտված է էներգիայով:*
2. *Ո՞ր մարմիններն են ընդունակ աշխատանք կատարելու:*
3. *Ո՞ր էներգիան են անվանում կինետիկ էներգիա և ի՞նչ բանաձևով է այն արտահայտվում:*
4. *Ձևակերպե՛ք կինետիկ էներգիայի թեորեմը:*
5. *Ինչպե՞ս է փոխվում մարմնի կինետիկ էներգիան, եթե նրա վրա ազդող ուժերի համազորի աշխատանքը՝ ա) դրական է, բ) բացասական է:*
6. *Կախվա՞ծ է արդյոք կինետիկ էներգիայի արժեքը հաշվարկման համակարգի ընտրությունից: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*

§ 40. Պոտենցիալ էներգիա: Պոտենցիալ էներգիայի թեորեմը

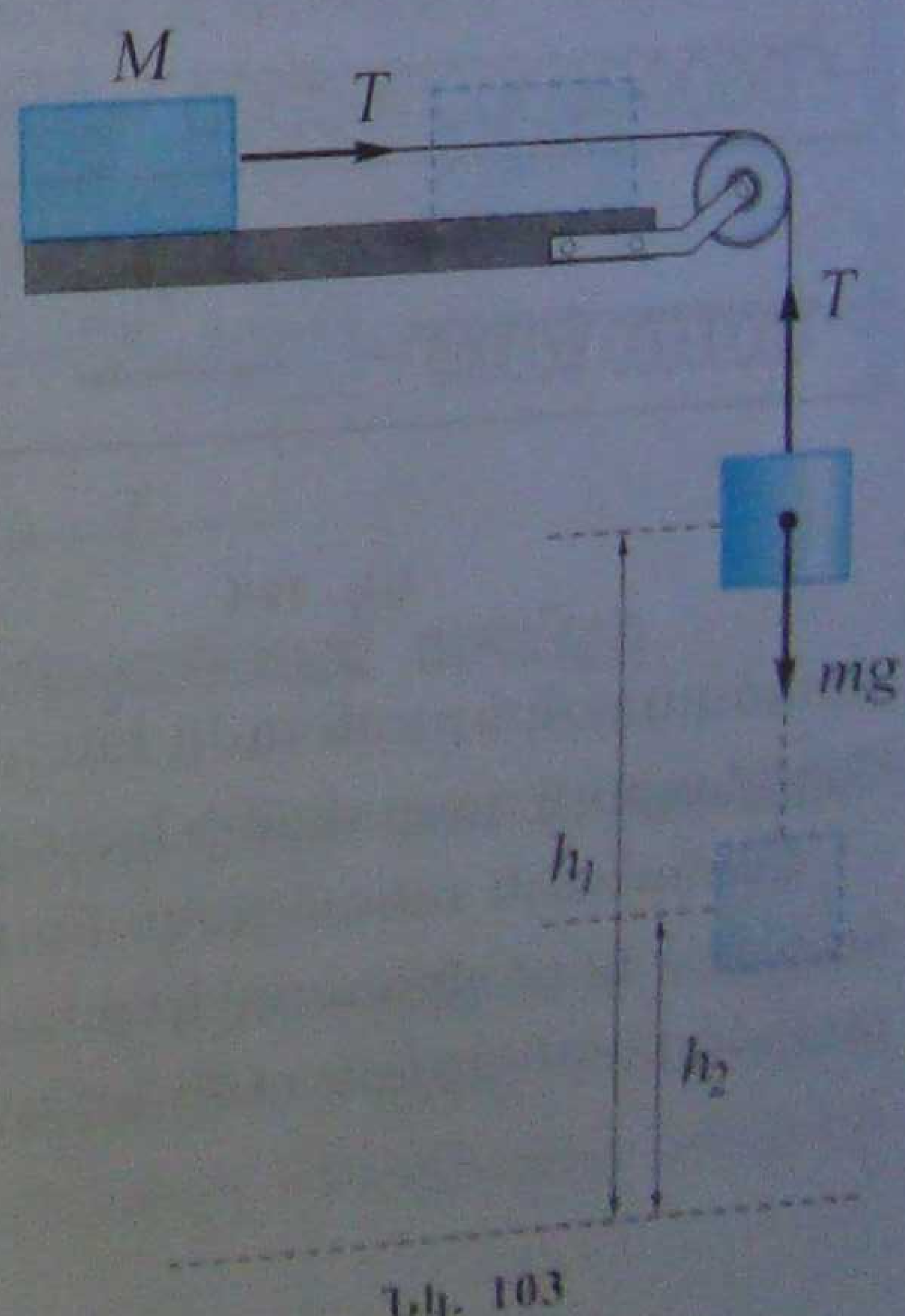
Մարմինների փոխազդեցությամբ պայմանավորված էներգիան անվանում են ***պոտենցիալ էներգիա***: Պոտենցիալ էներգիան չափվում է այն աշխատանքով, որ կարող է կատարել մարմինը առանց արագությունը փոխելու մի դիրքից մյուսը տեղափոխվելիս: Պոտենցիալ էներգիայով օժտված են այն մարմինները, որոնք փոխազդում են պոտենցիալային ուժերով: Պոտենցիալային ուժի օրինակներ են տիեզերական ձգողության, մասնավորապես՝ ծանրության և առաձգականության ուժերը: Ուստի՝ առաձգականորեն դեֆորմացված մարմինները և այն մարմինները, որոնց վրա ազդում է ծանրության ուժը, օժտված են պոտենցիալ էներգիաներով: Ուսումնասիրենք այդ էներգիաներն առանձին-առանձին:

Մարմնի՝ ծանրության ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան: Որպեսզի ցույց տանք, որ մարմինն օժտված է պոտենցիալ էներգիայով, երբ նրա վրա ազդում է ծանրության ուժը, պետք է համոզվենք, որ այն ընդունակ է աշխատանք կատարելու, և հաշվենք այդ աշխատանքը մարմինը մի դիրքից մյուսը տեղափոխվելիս: Դա հեշտ է ցուցադրել փորձով (նկ. 103): Ճախարակի միջոցով բեռից կապված մարմինը կարող է ցած իջնել և սեղանի մակերևույթով տեղափոխել բեռը, այսինքն՝ կատարել աշխատանք: Բեռն ընտրենք այնպես, որ համակարգը շարժվի հավասարաչափ: Այդ դեպքում թելի ձգվածության ուժը հավասար կլինի մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժին՝ $T = mg$:

Երբ մարմինն իջնում է h_1 բարձրությունից (հաշված մի ինչ-որ մակարդակից, որը մենք համարում ենք որպես բարձրության հաշվարկման սկիզբ) մինչև h_2 բարձրությունը (հաշված այդ նույն մակարդակից), բեռը թելի ձգվածության ուժի ուղղությամբ նույնպես տեղափոխվում է $(h_1 - h_2)$-ով, ուստի բեռը տեղափոխելիս մարմնի կատարած աշխատանքը՝

$$A = T(h_1 - h_2) = mg(h_1 - h_2): \qquad (8.24)$$

Բարձրությունների հաշվարկման սկիզբ կարելի է համարել ցանկացած մակարդակ (ելնելով հարմարությունից): (8.24) բանաձևի մեջ մտնում է բարձրությունների տարբերությունը, որը կախված չէ այն բանից, թե որ մակարդակից ենք հաշվում բարձրությունները: Անհրաժեշտ է միայն մարմնի տարբեր դիրքերում բարձրությունը որոշել միևնույն մակարդակի նկատմամբ: Այդ մակարդակի բարձրությունը համարվում է հավասար զրոյի: Այդպես էլ այն անվանում են՝ ***զրոյական մակարդակ:***



Նկ. 103

(8.24) հավասարումից հետևում է, որ մինչև զրոյական մակարդակին հասնելը ($h_2 = 0$) մարմինը կարող է կատարել $A = mgh_1$ աշխատանք: Ուրեմն զրոյական մակարդակից h բարձրության վրա գտնվող և ծանրության ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմինն օժտված է mgh պոտենցիալ էներգիայով: Հիշենք, որ նախորդ պարագրաֆում նման ձևով սահմանեցինք նաև կինետիկ էներգիան: Նրա համար «զրոյական

մակարդակը» $v = 0$ արագությունն է: Եթե պոտենցիալ էներգիան նշանակենք $E_պ$-ով, ապա կարող ենք գրել`

$$E_պ = mgh \; : \qquad (8.25)$$

Նկատենք, որ mgh-ը մարմնի վրա ազդող ծանրության ուժի աշխատանքն է, երբ մարմինը տվյալ դիրքից տեղափոխվում է զրոյական մակարդակ:

Հանգունորեն, սահմանվում է կամայական պոտենցիալային ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան: ***Պոտենցիալային ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմնի պոտենցիալ էներգիա տվյալ դիրքում կոչվում է այն ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է այդ դիրքից զրոյական մակարդակ տեղափոխվելիս պոտենցիալային ուժի կատարած աշխատանքին:***

§ 36-ում ծանրության ուժի կատարած աշխատանքի համար ստացել ենք

$$A = -(mgh_2 - mgh_1) \qquad (8.26)$$

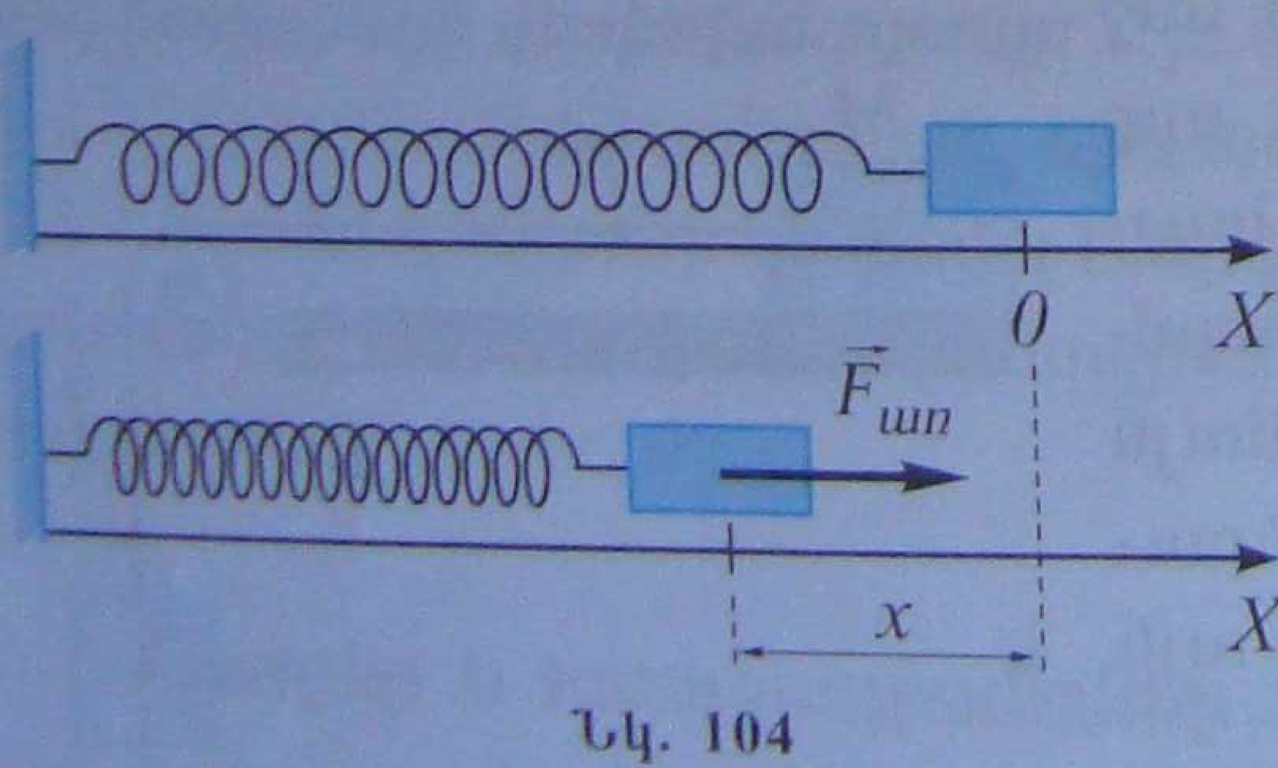
արտահայտությունը: Բայց mgh_2-ը և mgh_1-ը մարմնի $E_{պ2}$ և $E_{պ1}$ պոտենցիալ էներգիաներն են համապատասխանաբար վերջնական և սկզբնական դիրքերում, հետևաբար`

$$A = -(E_{պ2} - E_{պ1}) = -\Delta E_պ \; : \qquad (8.27)$$

Ստացվեց, որ ***ծանրության ուժի աշխատանքը հավասար է մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը` հակառակ նշանով:***

Պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության «մինուս» նշանը ցույց է տալիս, որ ծանրության ուժի դրական աշխատանքի դեպքում այդ էներգիան նվազում է: Ընդհակառակը` ծանրության ուժի բացասական աշխատանքի դեպքում մարմնի պոտենցիալ էներգիան աճում է: Կինետիկ էներգիան «իրեն պահում է» ճիշտ հակառակ ձևով:

Առաձգականորեն դեֆորմացված մարմնի պոտենցիալ էներգիան: Առաձգականորեն դեֆորմացված մարմնի մասերը փոխազդում են պոտենցիալային ուժերով, ուստի այդ մարմինն օժտված է պոտենցիալ էներգիայով: Եթե առաձգական մարմինը, օրինակ` զսպանակը, սեղմենք, ապա առաձգականության ուժի շնորհիվ այն կարող է «բացվել» և նրա ծայրին ամրացված մարմնին շարժում հաղորդել (նկ. 104), այսինքն` աշխատանք կատարել: Ինչպես կամայական պոտենցիալային ուժի դեպքում, առաձգականության ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան տվյալ դեպքում հավասար է առաձգականության ուժի աշխատանքին, երբ զսպանակի ծայրը տեղափոխվում է զրոյական մակարդակ: Տվյալ դեպքում որպես զրոյական մակարդակ հարմար է ընտրել այն դիրքը, որում առաձգականության ուժը հավասար է զրոյի, այսինքն` զսպանակը դեֆորմացված չէ: Այդ դեպքում զսպանակի երկարացումը կհամընկնի նրա ծայրի x կոորդինատի հետ:



Նկ. 104

Համաձայն առաձգականության ուժի աշխատանքի համար ստացված (8.9) բանաձևի` $x$ կոորդինատով կետից ($x_1 = x$) զրոյական մակարդակ ($x_2 = 0$) տեղափոխվելիս առաձգականության ուժի աշխատանքը`

$$A = \frac{kx^2}{2} \, , \qquad (8.28)$$

հետևաբար, առաձգականորեն դեֆորմացված մարմնի՝ զսպանակի պոտենցիալ էներգիան հավասար կլինի այդ աշխատանքին՝

$$E_պ = \frac{kx^2}{2}: \quad (8.29)$$

Հետևաբար, (8.9) հավասարումը կարող ենք գրել հետևյալ տեսքով՝

$$A = -(E_{պ2} - E_{պ1}) = -\Delta E_պ: \quad (8.30)$$

Համեմատելով (8.30) և (8.27) արտահայտությունները՝ կնկատենք, որ ծանրության ուժի նման, առաձգականության ուժի աշխատանքը ևս հավասար է այդ ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը՝ հակառակ նշանով: Այս արդյունքը ճիշտ է ոչ միայն ծանրության և առաձգականության ուժերի համար, այլև ժամանակից կախում չունեցող բոլոր պոտենցիալային ուժերի համար: Այդպիսի պոտենցիալային ուժերը կոչվում են *կոնսերվատիվ*:

Մարմնի վրա ազդող պոտենցիալային ուժերի կատարած աշխատանքը հավասար է նրա պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը՝ հակառակ նշանով.

$$A = -(E_{պ2} - E_{պ1}): \quad (8.31)$$

Այս պնդումը կոչվում է ***պոտենցիալ էներգիայի թեորեմ:***.

Վերջին բանաձևից հետևում է, որ մարմնի պոտենցիալ էներգիան նվազում է, եթե պոտենցիալային ուժի աշխատանքը դրական է՝ $A > 0$: Հակառակ դեպքում մարմնի պոտենցիալ էներգիան աճում է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր էներգիան են անվանում պոտենցիալ էներգիա:*
2. *Ինչի՞ է հավասար մարմնի՝ ծանրության ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան:*
3. *Գրե՛ք դեֆորմացված զսպանակի պոտենցիալ էներգիայի բանաձևը և նշե՛ք նրանում առկա մեծությունների անվանումները:*
4. *Ինչպե՞ս են կապված ծանրության և առաձգականության ուժերի աշխատանքները մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության հետ:*
5. *Ձևակերպե՛ք պոտենցիալ էներգիայի թեորեմը:*

§ 41. Լրիվ մեխանիկական էներգիա: Լրիվ մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքը

Այժմ պարզենք, թե ինչպես է փոխվում մարմնի էներգիան, երբ նրա վրա պոտենցիալային ուժ է ազդում:

Մարմինը միաժամանակ կարող է ունենալ և՛ կինետիկ, և՛ պոտենցիալ էներգիա: Օրինակ՝ անկյան տակ նետված մարմինը (նկ.105) օժտված է կինետիկ էներգիայով, քանի որ որոշակի արագությամբ շարժվում է: Բացի այդ, այն օժտված է պոտենցիալ էներգիայով, քանի որ նրա վրա ծանրության ուժն է ազդում:

հետևաբար, առաձգականորեն դեֆորմացված մարմնի՝ զսպանակի պոտենցիալ էներգիան հավասար կլինի այդ աշխատանքին՝

$$E_{պ} = \frac{kx^2}{2};$$ (8.29)

Հետևաբար, (8.9) հավասարումը կարող ենք գրել հետևյալ տեսքով՝

$$A = -(E_{պ2} - E_{պ1}) = -\Delta E_{պ}:$$ (8.30)

Համեմատելով (8.30) և (8.27) արտահայտությունները՝ կնկատենք, որ ծանրության ուժի նման, առաձգականության ուժի աշխատանքը ևս հավասար է այդ ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը՝ հակառակ նշանով: Այս արդյունքը ճիշտ է ոչ միայն ծանրության և առաձգականության ուժերի համար, այլև ժամանակից կախում չունեցող բոլոր պոտենցիալային ուժերի համար: Այդպիսի պոտենցիալային ուժերը կոչվում են ***կոնսերվատիվ***:

Մարմնի վրա ազդող պոտենցիալային ուժերի կատարած աշխատանքը հավասար է նրա պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը՝ հակառակ նշանով.

$$A = -(E_{պ2} - E_{պ1}):$$ (8.31)

Այս պնդումը կոչվում է ***պոտենցիալ էներգիայի թեորեմ:***

Վերջին բանաձևից հետևում է, որ մարմնի պոտենցիալ էներգիան նվազում է, եթե պոտենցիալային ուժի աշխատանքը դրական է՝ $A > 0$: Հակառակ դեպքում մարմնի պոտենցիալ էներգիան աճում է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր էներգիան են անվանում պոտենցիալ էներգիա:*
2. *Ինչի՞ է հավասար մարմնի՝ ծանրության ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան:*
3. *Գրե՛ք դեֆորմացված զսպանակի պոտենցիալ էներգիայի բանաձևը և նշե՛ք նրանում առկա մեծությունների անվանումները:*
4. *Ինչպե՞ս են կապված ծանրության և առաձգականության ուժերի աշխատանքները մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության հետ:*
5. *Ձևակերպե՛ք պոտենցիալ էներգիայի թեորեմը:*

§41. Լրիվ մեխանիկական էներգիա: Լրիվ մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքը

Այժմ պարզենք, թե ինչպես է փոփոխվում մարմնի էներգիան, երբ նրա վրա պոտենցիալային ուժ է ազդում:

Մարմինը միաժամանակ կարող է ունենալ և՛ կինետիկ, և՛ պոտենցիալ էներգիա: Օրինակ՝ անկյան տակ նետված մարմինը (նկ.105) օժտված է կինետիկ էներգիայով, քանի որ դեպի վեր շարժվում է: Բացի այդ, այն օժտված է պոտենցիալ էներգիայով, քանի որ նրա վրա ծանրության ուժն է ազդում:

*Մարմնի կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների գումարը կոչվում է մարմնի **լրիվ մեխանիկական էներգիա**`*

$$E = E_կ + E_պ :\qquad (8.32)$$

Օրինակ` Երկրի մակերևույթից $h$ բարձրության վրա $\vec{v}$ արագությամբ շարժվող $m$ զանգվածով մարմնի (նկ. 105) լրիվ մեխանիկական էներգիան`

$$E = E_կ + E_պ = \frac{mv^2}{2} + mgh ,\qquad (8.33)$$

իսկ եթե մարմինն ամրացված է զսպանակին (նկ. 106), ապա այդ համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան`

$$E = E_կ + E_պ = \frac{mv^2}{2} + mgh + \frac{kx^2}{2} ,\qquad (8.34)$$

Նկ. 105 Նկ. 106

որտեղ k-ն զսպանակի կոշտությունն է, x-ը` երկարացումը:

Պոտենցիալային ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմնի պոտենցիալ էներգիան ժամանակի որևէ պահին նշանակենք $E_{պ1}$-ով, իսկ կինետիկ էներգիան` $E_{կ1}$-ով: Նշանակենք $E_{պ2}$-ով և $E_{կ2}$-ով այդ նույն մարմնի պոտենցիալ և կինետիկ էներգիաները ժամանակի որևէ այլ պահի:

Ինչպես պարզեցինք, մարմնի վրա ազդող պոտենցիալային ուժի աշխատանքը հավասար է մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը` հակառակ նշանով`

$$A = -(E_{պ2} - E_{պ1}) :\qquad (8.35)$$

Մյուս կողմից, կինետիկ էներգիայի թեորեմի համաձայն, մարմնի վրա ազդող համազոր ուժի աշխատանքը հավասար է մարմնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությանը`

$$A = E_{կ2} - E_{կ1} :\qquad (8.36)$$

(8.35) և (8.36) բանաձևերի բաղդատումից երևում է, որ կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների փոփոխությունները բացարձակ արժեքով հավասար են, բայց ունեն հակառակ նշաններ`

$$E_{կ2} - E_{կ1} = -(E_{պ2} - E_{պ1}) :\qquad (8.37)$$

Եթե մարմնի պոտենցիալ էներգիան աճում է, ապա նրա կինետիկ էներգիան նույն չափով նվազում է, և հակառակը: Ուստի կարելի է ասել, որ տեղի է ունենում էներգիայի մի տեսակի փոխակերպումը մեկ այլ տեսակի:

(8.37) բանաձևը կարելի է գրել

$$E_{կ2} + E_{պ2} = E_{կ1} + E_{պ1}$$

տեսքով: Ստացված հավասարության ձախ և աջ մասերում գրված է մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան ժամանակի տարբեր պահերին: Ուրեմն, այդ պահերին մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիաներն իրար հավասար են: Քանի որ ժամանակի պահերն ընտրված էին կամայականորեն, ապա կարող ենք եզրակացնել, որ ***պոտենցիալային ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան մնում է հաստատուն, այսինքն` պահպանվում է:*** Սա էներգիայի պահպանման օրենքն է մեխանիկայում մեկ մարմնի համար:

Մարմնի կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների գումարը կոչվում է մարմնի ***լրիվ մեխանիկական էներգիա***`

$$E = E_{\text{կ}} + E_{\text{պ}} : \qquad (8.32)$$

Օրինակ` Երկրի մակերևույթից $h$ բարձրության վրա $\vec{v}$ արագությամբ շարժվող $m$ զանգվածով մարմնի (նկ. 105) լրիվ մեխանիկական էներգիան`

$$E = E_{\text{կ}} + E_{\text{պ}} = \frac{mv^2}{2} + mgh , \qquad (8.33)$$

իսկ եթե մարմինն ամրացված է զսպանակին (նկ. 106), ապա այդ համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան`

$$E = E_{\text{կ}} + E_{\text{պ}} = \frac{mv^2}{2} + mgh + \frac{kx^2}{2} , \qquad (8.34)$$

Նկ. 105 Նկ. 106

որտեղ k-ն զսպանակի կոշտությունն է, x-ը` երկարացումը:

Պոտենցիալային ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմնի պոտենցիալ էներգիան ժամանակի որևէ պահին նշանակենք $E_{\text{պ}1}$-ով, իսկ կինետիկ էներգիան` $E_{\text{կ}1}$-ով: Նշանակենք $E_{\text{պ}2}$-ով և $E_{\text{կ}2}$-ով այդ նույն մարմնի պոտենցիալ և կինետիկ էներգիաները ժամանակի որևէ այլ պահի:

Ինչպես պարզեցինք, մարմնի վրա ազդող պոտենցիալային ուժի աշխատանքը հավասար է մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը` հակառակ նշանով`

$$A = -(E_{\text{պ}2} - E_{\text{պ}1}) : \qquad (8.35)$$

Մյուս կողմից, կինետիկ էներգիայի թեորեմի համաձայն, մարմնի վրա ազդող համազոր ուժի աշխատանքը հավասար է մարմնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությանը`

$$A = E_{\text{կ}2} - E_{\text{կ}1} : \qquad (8.36)$$

(8.35) և (8.36) բանաձևերի բաղդատումից երևում է, որ կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների փոփոխությունները բացարձակ արժեքով հավասար են, բայց ունեն հակառակ նշաններ`

$$E_{\text{կ}2} - E_{\text{կ}1} = -(E_{\text{պ}2} - E_{\text{պ}1}) : \qquad (8.37)$$

Երբ մարմնի պոտենցիալ էներգիան աճում է, ապա նրա կինետիկ էներգիան նույն չափով նվազում է, և հակառակը: Ուստի կարելի է ասել, որ տեղի է ունենում էներգիայի մի տեսակի փոխակերպումը մեկ այլ տեսակի:

(8.37) բանաձևը կարելի է գրել

$$E_{\text{կ}2} + E_{\text{պ}2} = E_{\text{կ}1} + E_{\text{պ}1}$$

տեսքով: Ստացված հավասարության ձախ և աջ մասերում գրված է մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան ժամանակի տարբեր պահերին: Ուրեմն, այդ պահերին մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիաներն իրար հավասար են: Քանի որ ժամանակի պահերն ընտրված էին կամայականորեն, ապա կարող ենք եզրակացնել, որ ***պոտենցիալային ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան մնում է հաստատուն, այսինքն` պահպանվում է***: Սա էներգիայի պահպանման օրենքն է մեխանիկայում մեկ մարմնի համար:

Պոտենցիալային ուժի ազդեցությանը ենթարկվող մարմնի պոտենցիալ էներգիայի մասին խոսելիս մենք կարծես «մոռացել ենք», որ այդ էներգիայով մարմինն օժտված է, քանի որ փոխազդում է մեկ այլ մարմնի հետ, օրինակ՝ ծանրության ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիայով մարմինն օժտված է, քանի որ փոխազդում է Երկրի հետ, առաձգականորեն դեֆորմացված մարմինն օժտված է պոտենցիալ էներգիայով, քանի որ փոխազդում են մարմինը կազմող առանձին մասնիկները: Ուստի՝ պոտենցիալ էներգիայի մասին ասում են, որ այն փոխազդեցության էներգիա է: Պոտենցիալ էներգիան, խստորեն ասած, վերաբերում է ոչ թե մեկ մարմնի, այլ մարմինների համակարգի: Փոխազդող մարմինների համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան մարմինների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի և նրանց ընդհանուր կինետիկ էներգիայի գումարն է:

Էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքը ճիշտ է միմյանց հետ պոտենցիալային ուժերով փոխազդող մարմինների փակ համակարգի համար (մարմինների համակարգը կոչվում է ***փակ***, եթե այդ մարմինները փոխազդում են միայն իրար հետ, և տվյալ համակարգի մեջ չմտնող այլ մարմիններ նրանց վրա չեն ազդում):

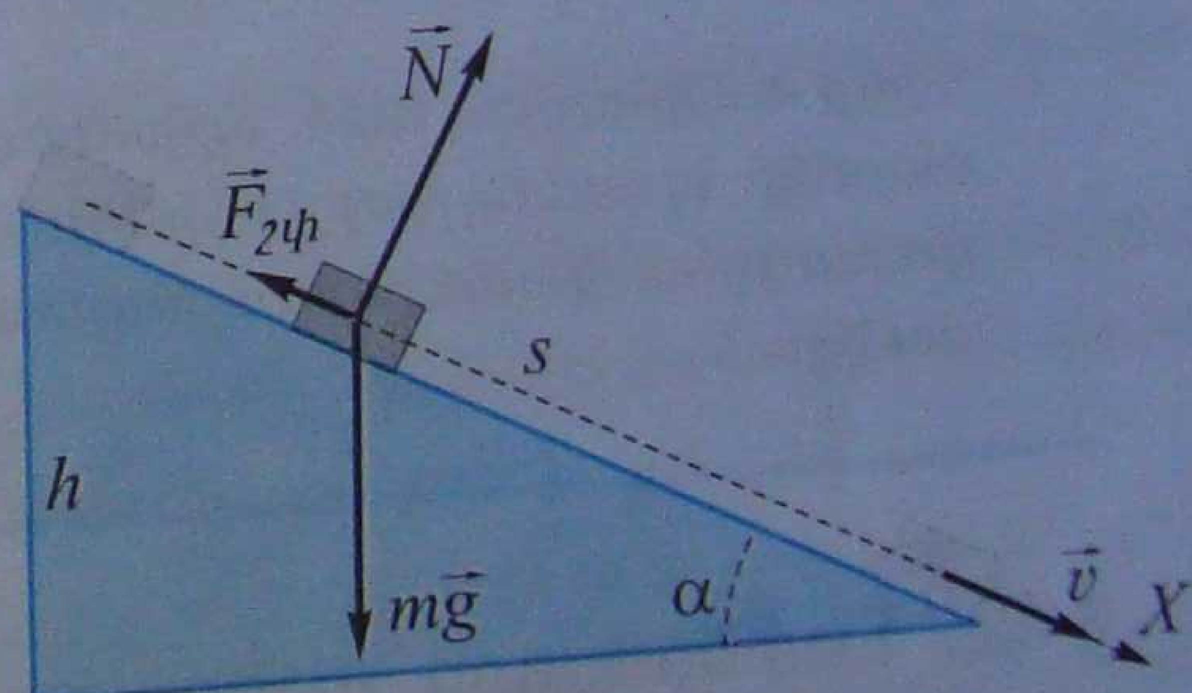
Պոտենցիալային ուժերով իրար հետ փոխազդող մարմինների փակ համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է.

$$E = E_կ + E_պ = const: \qquad (8.38)$$

Էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքը հնարավորություն է տալիս ավելի խոր հասկանալու աշխատանքի ֆիզիկական իմաստը: Այն փաստից, որ միևնույն աշխատանքը հանգեցնում է կինետիկ էներգիայի աճի և նույն չափով էլ պոտենցիալ էներգիայի նվազման, հետևում է, որ աշխատանքը հավասար է մի տեսակից մի այլ տեսակի փոխակերպված էներգիային:

Եթե մարմնի վրա ոչ պոտենցիալային ուժ է ազդում, ապա մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան չի պահպանվում: Ոչ պոտենցիալային ուժի ազդեցությունը մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիայի վրա ուսումնասիրենք սահքի շփման ուժի օրինակով:

√ Դիցուք՝ *m* զանգվածով չորսուն *h* բարձրությունից սկսում է սահել հորիզոնի հետ α անկյուն կազմող թեք հարթությամբ, որի հետ չորսուի շփման գործակիցը μ է (նկ. 107): Թեք հարթությամբ շարժվող մարմնի վրա ազդող շփման ուժը և նրա շարժման արագացումը (տե՛ս գլուխ 6, Խնդիրների լուծման օրինակներ, 7).



Նկ. 107

$$F_{2փ} = \mu mg\cos\alpha, \quad a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha):$$

Արագացման արժեքը տեղադրելով արագացող շարժման $v_2^2 - v_1^2 = 2as$ բանաձևի մեջ և հաշվի առնելով, որ $v_1 = 0$ (քանի որ մարմինը շարժումը սկսում է դադարի վիճակից), իսկ $v_2 = v$, կստանանք՝

$$v^2 = 2gs(\sin\alpha - \mu\cos\alpha): \qquad (8.39)$$

Շարժման սկզբում չորսուի կինետիկ էներգիան հավասար է զրոյի, ուստի նրա լրիվ մեխանիկական էներգիան՝

$$E_1 = mgh: \qquad (8.40)$$

Թեք հարթության ստորոտում մարմնի պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի, հետևաբար՝ նրա լրիվ մեխանիկական էներգիան հավասար է մարմնի կինետիկ էներգիային՝

$$E_2 = \frac{mv^2}{2}: \qquad (8.41)$$

(8.41) հավասարման մեջ տեղադրելով v^2-ու արժեքը՝ կստանանք՝

$$E_2 = mgs\sin\alpha - \mu mgs\cos\alpha: \qquad (8.42)$$

(8.42) արտահայտության մեջ տեղադրելով $s\sin\alpha = h$ և $\mu mg\cos\alpha = F_{շփ}$՝ կստանանք՝

$$E_2 = mgh - F_{շփ}s: \qquad (8.43)$$

mgh-ը մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան է շարժման սկզբում, իսկ $-F_{շփ}s$-ը՝ շփման ուժի A աշխատանքը, հետևաբար՝

$$E_2 = E_1 + A,$$

որտեղից՝

$$\boxed{A = E_2 - E_1}: \qquad (8.44)$$

Ստացված հավասարումն արտահայտում է լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխության թեորեմը. ***մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող ոչ պոտենցիալային ուժի կատարած աշխատանքին:***

Եթե համակարգում գործող ոչ պոտենցիալային ուժերի հետ մեկտեղ համակարգի վրա արտաքինից ազդող ուժերի գումարը տարբեր է զրոյից, ապա ***համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխությունը հավասար է այդ ուժերի և ոչ պոտենցիալային ուժերի գումարային աշխատանքին:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Սահմանե՛ք լրիվ մեխանիկական էներգիան:*
2. *Գրե՛ք ծանրության ուժի աշխատանքի և մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության կապն արտահայտող բանաձևը:*
3. *Գրե՛ք կինետիկ էներգիայի թեորեմի բանաձևը:*
4. *Ձևակերպե՛ք լրիվ մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքը:*
5. *Ձևակերպե՛ք լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխության թեորեմը:*

§42. Լաբորատոր աշխատանք N6. Մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքի ուսումնասիրումը փորձով

Աշխատանքի նպատակը. Համեմատել երկու մեծություններ՝ զսպանակին ամրացված մարմնի պոտենցիալ էներգիայի նվազումն անկման դեպքում և ձգված զսպանակի պոտենցիալ էներգիայի աճը:

Չափամիջոցներ. 1. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. զսպանակ, 2. 100 կամ 50 գրամանոց բեռների հավաքածու, 3. ամրակալան՝ կցորդիչով:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ամրակալանին ամրացնել հայտնի կոշտությամբ (օրինակ՝ $k = 8$ Ն/մ) զսպանակ և չձգված վիճակում չափել զսպանակի ծայրի կոորդինատը:

2. Զսպանակից կախել բեռ ($m = 100$ գ): Չափել բեռի h բարձրությունը սեղանի հարթությունից և ձգման x չափը:

3. Ձեռքով բարձրացնել բեռը՝ բեռնաթափելով զսպանակը: Բեռը բարձրացնել այնպիսի h_1 (դիրք 1) բարձրության վրա (կարելի է համոզվել, որ բեռը պետք է բարձրացնել h չափով), որ այն բաց թողնելիս միայն հպվի սեղանի մակերևույթին (դիրք 2):

4. Հաշվել էներգիաները 1 (զսպանակը ձգված է x_1 չափով, իսկ բեռը գտնվում է h_1 բարձրության վրա) և 2 (զսպանակը ձգված է x_2 չափով, իսկ բեռի բարձրությունը 0 է) դիրքերում և համոզվել, որ դրանք հավասար են.

$$E_1 = \frac{kx_1^2}{2} + mgh_1, \quad E_2 = \frac{kx_2^2}{2}, \quad E_1 = E_2:$$

Օգտվելով էներգիայի պահպանման օրենքից՝ ապացուցել, որ $h_1 = 2h$:

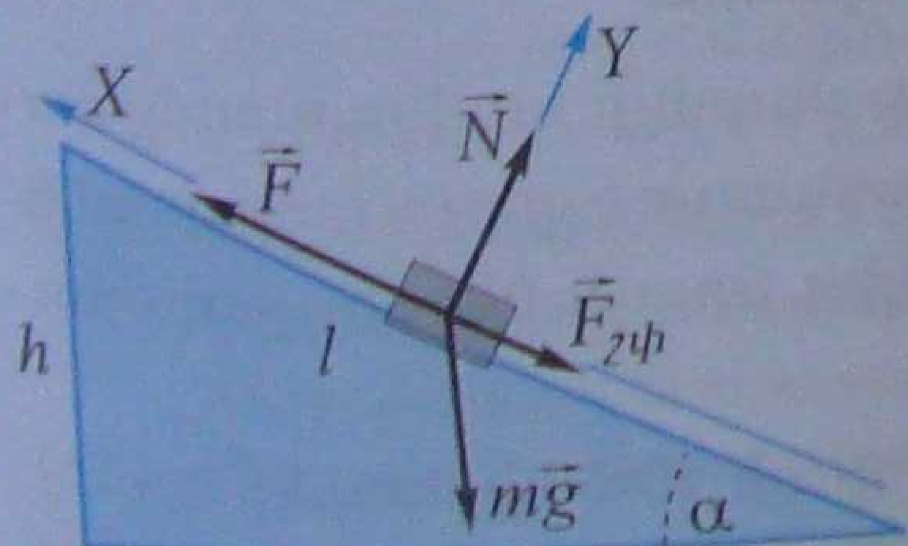
Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Գտնել 1 մ երկարությամբ և 0,6 մ բարձրությամբ թեք հարթության ՕԳԳ-ն, եթե շփման գործակիցը հավասար է 0,1-ի:***

Լուծում: m զանգվածով բեռը h բարձրության հասցնելու համար կատարվող օգտակար աշխատանքը՝ $A_{oq} = mgh$: Երբ մարմինը բարձրացվում է թեք հարթությամբ՝ նրա երկայնքով F ուժ ազդելով, ի հայտ են գալիս շփման ուժեր, որոնց հաղթահարման համար լրացուցիչ անօգուտ աշխատանք է կատարվում: Հաշվենք լրիվ աշխատանքը, որ կատարվում է այդ դեպքում:

Մարմնի վրա ազդող ուժերը պատկերված են նկարում: Մարմինը հավասարաչափ վեր քաշելու դեպքում նրա վրա ազդող բոլոր ուժերի պրոյեկցիաների գումարը կոորդինատային առանցքների վրա հավասար է զրոյի.

$$F_x + N_x + F_{շփx} + mg_x = 0, \quad F_y + N_y + F_{շփy} + mg_y = 0:$$



Եթե հորիզոնական հարթության հետ հարթության կազմած անկյունը նշանակենք α-ով, ապա՝ $F_x = F$, $N_y = N$, $N_x = 0$, $F_{շփx} = -\mu N$, $mg_x = -mg\sin\alpha$, $F_y = 0$, $F_{շփy} = 0$, $mg_y = -mg\cos\alpha$, ուստի՝

$$F - \mu N - mg\sin\alpha = 0, \quad N - mg\cos\alpha = 0:$$

Երկրորդ հավասարումից՝ $N = mg\cos\alpha$: Տեղադրելով առաջին հավասարման մեջ՝ կստանանք՝

$$F = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha):$$

Թեք հարթության հիմքից մինչև գագաթ բեռը բարձրացնելիս F ուժի կատարած աշխատանքը՝ $A_{լր} = Fl\cos 0° = mgl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$, ուստի՝ թեք հարթության ՕԳԳ-ն՝

$$\eta = \frac{A_{օգ}}{A_{լր}} = \frac{mgh}{mgl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)};$$

Ինչպես երևում է նկարից, $l\sin\alpha = h$, $l\cos\alpha = \sqrt{l^2 - h^2}$, ուստի՝

$$\eta = \frac{h}{h + \mu\sqrt{l^2 - h^2}} \approx 0,88;$$

2. ***Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել, որպեսզի $v_1 = 20$ մ/վ արագությամբ շարժվող գնացքի արագությունը հասցվի $v_2 = 30$ մ/վ-ի: Գնացքի զանգվածը՝ $m = 10^6$ կգ: Ինչքա՞ն պետք է լինի շարժիչի զարգացրած քարշի ուժը, եթե արագության այդ մեծացումը պետք է տեղի ունենա ճանապարհի 2000 մ երկարություն ունեցող տեղամասում: Շարժումը համարել հավասարաչափ արագացող:***

Լուծում: A աշխատանքը կարելի է գտնել կինետիկ էներգիայի թեորեմից՝

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

որտեղ տեղադրելով խնդրում բերված տվյալները՝ կստանանք՝ $A = 250$ ՄՋ: Քարշի ուժի ուղղությունը համընկնում է գնացքի շարժման ուղղության հետ, ուստի նրա կատարած աշխատանքը՝ $A = Fs$, որտեղից՝ $F = A/s = 125000$ Ն $= 125$ կՆ:

3. ***Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել 200 կգ զանգվածով և 3 մ երկարությամբ բարակ, համասեռ հորիզոնական ձողն ուղղաձիգ կանգնեցնելու համար:***

Լուծում: Հորիզոնական դիրքում ձողի պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի, իսկ ուղղաձիգ դիրքում՝ mgh, որտեղ h-ը ձողի ծանրության կենտրոնի բարձրությունն է: Քանի որ համասեռ ձողի ծանրության կենտրոնը գտնվում է նրա մեջտեղում, ապա՝ $h = l/2$, որտեղ l-ը ձողի երկարությունն է: Կինետիկ էներգիան երկու դեպքում էլ հավասար է զրոյի: Համածային լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխության թեորեմի՝ կատարված աշխատանքը՝ $A = E_2 - E_1 = mgl/2 = 3000$ Ջ $= 3$ կՋ:

4. ***Երկար, բարակ թելից կախված m զանգվածով գնդիկը (տե՛ս նկարը) ուղղաձիգի նկատմամբ շեղում են α անկյունով և բաց թողնում: Ինչքա՞ն է թելի ձգվածության ուժը հավասարակշռության դիրքով գնդիկի անցնելու պահին:***

Լուծում: Եթե որպես զրոյական մակարդակ ընդունենք մարմնի հավասարակշռության դիրքը, ապա 1 դիրքում գնդիկի կինետիկ էներգիան հավասար է զրոյի, իսկ պոտենցիալ էներգիան՝ mgh, որտեղ h-ը զրոյական մակարդակից նրա ունեցած բարձրությունն է: Ինչպես երևում է նկարից, $h = l(1 - \cos\alpha)$:

2 դիրքում մարմնի պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի, իսկ կինետիկը՝ $mv^2/2$: Շարժման ընթացքում, ծանրության ուժից բացի, մարմնի վրա ազդում է նաև թելի ձգվածության ուժը: Քանի որ հետագծի յուրաքանչյուր կետում այդ ուժն ուղղված է դեպի հետագծի կենտրոն, իսկ արագությունը՝ հետագծին տարված շոշափողով, ապա այդ ուժը միշտ ուղղահայաց է մարմնի շարժման ուղղությանը և աշխատանք չի կատարում:

Թեք հարթության հիմքից մինչև գագաթ բեռը բարձրացնելիս F ուժի կատարած աշխատանքը՝ $A_{լր} = Fl\cos 0° = mgl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$, ուստի՝ թեք հարթության ՕԳԳ-ն՝

$$\eta = \frac{A_{օգ}}{A_{լր}} = \frac{mgh}{mgl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}:$$

Ինչպես երևում է նկարից, $l\sin\alpha = h$, $l\cos\alpha = \sqrt{l^2 - h^2}$, ուստի՝

$$\eta = \frac{h}{h + \mu\sqrt{l^2 - h^2}} \approx 0,88:$$

2. Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել, որպեսզի $v_1 = 20$ մ/վ արագությամբ շարժվող գնացքի արագությունը հասնի $v_2 = 30$ մ/վ-ի: Գնացքի զանգվածը՝ $m = 10^6$ կգ: Ինչքա՞ն պետք է լինի շարժիչի զարգացրած քարշի ուժը, եթե արագության այդ մեծացումը պետք է տեղի ունենա ճանապարհի 2000 մ երկարություն ունեցող տեղամասում: Շարժումը համարել հավասարաչափ արագացող:

Լուծում: A աշխատանքը կարելի է գտնել կինետիկ էներգիայի թեորեմից՝

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

որտեղ տեղադրելով խնդրում բերված տվյալները՝ կստանանք՝ $A = 250$ ՄՋ: Քարշի ուժի ուղղությունը համընկնում է գնացքի շարժման ուղղության հետ, ուստի նրա կատարած աշխատանքը՝ $A = Fs$, որտեղից՝ $F = A/s = 125000$ Ն $= 125$ կՆ:

3. Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել 200 կգ զանգվածով և 3 մ երկարությամբ բարակ, համասեռ հորիզոնական ձողն ուղղաձիգ կանգնեցնելու համար:

Լուծում: Հորիզոնական դիրքում ձողի պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի, իսկ ուղղաձիգ դիրքում՝ mgh, որտեղ h-ը ձողի ծանրության կենտրոնի բարձրությունն է: Քանի որ համասեռ ձողի ծանրության կենտրոնը գտնվում է նրա մեջտեղում, ապա՝ $h = l/2$, որտեղ l-ը ձողի երկարությունն է: Կինետիկ էներգիան երկու դեպքում էլ հավասար է զրոյի: Համաձայն լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխության թեորեմի՝ կատարված աշխատանքը՝ $A = E_2 - E_1 = mgl/2 = 3000$ Ջ $= 3$ կՋ:

4. Երկար, բարակ թելից կախված m զանգվածով գնդիկը (տե՛ս նկարը) ուղղաձիգի նկատմամբ շեղում են α անկյունով և բաց թողնում: Ինչքա՞ն է թելի ձգվածության ուժը հավասարակշռության դիրքով գնդիկի անցնելու պահին:

Լուծում: Եթե որպես զրոյական մակարդակ ընդունենք մարմնի հավասարակշռության դիրքը, ապա 1 դիրքում գնդիկի կինետիկ էներգիան հավասար է զրոյի, իսկ պոտենցիալ էներգիան՝ mgh, որտեղ h-ը զրոյական մակարդակից նրա ունեցած բարձրությունն է: Ինչպես երևում է նկարից, $h = l(1 - \cos\alpha)$:

2 դիրքում մարմնի պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի, իսկ կինետիկը՝ $mv^2/2$: Շարժման ընթացքում, ծանրության ուժից բացի, մարմնի վրա ազդում է նաև թելի ձգվածության ուժը: Քանի որ հետագծի յուրաքանչյուր կետում այդ ուժն ուղղված է դեպի հետագծի կենտրոն, իսկ արագությունը՝ հետագծին տարված շոշափողով, ապա այդ ուժը միշտ ուղղահայաց է մարմնի շարժման ուղղությանը և աշխատանք չի կատարում:

Դա նշանակում է, որ մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է.

$$mv^2/2 = mgh :$$

Հավասարակշռության դիրքում Նյուտոնի երկրորդ օրենքն ունի հետևյալ տեսքը`

$$T - mg = mv^2/l :$$

Համատեղ լուծելով վերը նշված հավասարումների համակարգը` կստանանք`

$$T = mg(3-2\cos\alpha):$$

5. ***Մարմինն առանց շփման սահում է թեք հարթությամբ, որը վերածվում է R շառավղով «մահվան օղակի»: Թեք հարթության բարձրությունը` H = 2R: Ի՞նչ h բարձրության վրա մարմինը կպոկվի օղակից:***

Լուծում: Ենթադրենք` մարմինն օղակից պոկվելու պահին նրա դիրքով անցնող շառավիղն ուղղաձիգի հետ կազմում է $\alpha$ անկյուն: Այդ պահին հենարանի հակազդեցության ուժն անհետանում է ($N = 0$), և մարմնի վրա ազդում է միայն ծանրության ուժը: Համաձայն Նյուտոնի երկրորդ օրենքի` ծանրության ուժի պրոյեկցիան մարմնի դիրքով անցնող շառավղի վրա` $mg\cos\alpha = ma_n = mv^2/R$:

Մարմնի վրա ողջ շարժման ընթացքում, ծանրության ուժից բացի, ազդում է նաև հակազդեցության ուժը, որի աշխատանքը հավասար է զրոյի, ուստի շարժման ընթացքում լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է.

$$mgH = mgh + mv^2/2 ,$$

որտեղ h-ը մարմնի բարձրությունն է, իսկ v-ն` նրա արագությունը օղակից անջատվելու պահին: Ինչպես երևում է գծագրից, $h = AO + OB = R(1+\cos\alpha)$:

Համատեղ լուծելով հավասարումների համակարգը` կստանանք` $h = 5R/3$:

Խնդիրներ

1. *Սկզբնական արագություն չունեցող $m = 0,2$ կգ զանգվածով մարմինն ազատ անկնում է կատարում: Որոշել ծանրության ուժի աշխատանքը 6 վ-ի ընթացքում:*

2. *Դեպի վեր նետված 0,1 կգ զանգվածով մարմինը հասավ 5 մ բարձրության: Գտնել ծանրության ուժի աշխատանքը դեպի վեր գնդակի շարժման ժամանակ:*

3. *25 կգ զանգված ունեցող մարմինը հաստատուն ուժի ազդեցությամբ սկսում է շարժվել դադարի վիճակից $0,2$ մ/վ^2 արագացմամբ: Ինչի՞ է հավասար այդ ուժի աշխատանքն առաջին 20 վ-ի ընթացքում:*

4. *Հորիզոնական ճանապարհով 72 կմ/ժ արագությամբ շարժվող մեքենան արգելակում է: Որոշել շփման ուժի աշխատանքը մինչև մեքենայի կանգ առնելը, երբ նրա զանգվածը 3տ է:*

5. *Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել 30° թեքության անկյուն ունեցող հարթությամբ 400 կգ զանգվածով բեռը հավասարաչափ 2 մ բարձրության վրա հասցնելու համար, երբ շփման գործակիցը 0,3 է:*

6. Որքա՞ն է ուժաչափի զսպանակի երկարացումը, երբ ուժաչափի ցուցմունքը 40Ն է, իսկ ձգման ժամանակ կատարվել է 1,6Ջ աշխատանք:

7. Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել 3000 Ն/մ կոշտություն ունեցող զսպանակը 0,008 մ-ով ձգելու համար:

8. Զսպանակը $4\cdot10^{-3}$մ-ով ձգելու համար անհրաժեշտ է կատարել 0,02 Ջ աշխատանք: Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել զսպանակը $4\cdot10^{-2}$մ-ով ձգելու համար:

9. Զսպանակը 0,05մ-ով սեղմելու համար անհրաժեշտ է կատարել 8Ջ աշխատանք: Որոշել զսպանակի կոշտությունը:

10. Պոմպի օգտակար հզորությունը 10 կՎտ է: Ի՞նչ ծավալի ջուր կարող է բարձրացնել այդ պոմպը 18 մ խորությունից 1ժ-ում:

11. 900 կմ/ժ արագությամբ թռչող ինքնաթիռի չորս շարժիչները միասին զարգացնում են 30 ՄՎտ հզորություն: Գտնել մեկ շարժիչի զարգացրած քարշի ուժն այդ ռեժիմում:

12. Վերամբարձ կռունկը, որի շարժիչի հզորությունը $8\cdot10^3$Վտ է, բեռը բարձրացնում է 0,1 մ/վ հաստատուն արագությամբ: Ինչի՞ է հավասար բեռի զանգվածը:

13. Էլեկտրագնացքի քարշի ուժը $2,4\cdot10^5$ Ն է, իսկ շարժիչի զարգացրած հզորությունը` $3\cdot10^6$ Վտ: Ի՞նչ ժամանակամիջոցում էլեկտրագնացքն ուղղագիծ հավասարաչափ կանցնի $1,5\cdot10^4$ մ:

14. Ի՞նչ աշխատանք է կատարվում 1000 տ զանգված ունեցող գնացքը կանգնեցնելու ժամանակ, երբ այն շարժվում է 108 կմ/ժ արագությամբ:

15. 0,5 մ շառավիղ ունեցող շրջանագծով հավասարաչափ շարժվող մարմինն օժտված է 10 Ջ կինետիկ էներգիայով: Ի՞նչ ուժ է ազդում մարմնի վրա: Ի՞նչ ուղղություն ունի այդ ուժը, և ինչի՞ է հավասար նրա աշխատանքը:

16. 4 տ զանգվածով ավտոմեքենան շարժվում է 36կմ/ժ արագությամբ: Ի՞նչ ճանապարհ անցյալ ավտոմեքենան մինչև լրիվ կանգ առնելը, երբ անիվների` ճանապարհի հետ շփման ուժը հավասար է 5882 Ն:

17. Ի՞նչ արագությամբ էր շարժվում $1,5\cdot10^6$ կգ զանգվածով գնացքը, երբ $1,5\cdot10^5$ Ն արգելակող ուժի ազդեցությամբ արգելակման սկզբից մինչև կանգ առնելն այն անցնում է 500 մ:

18. 2 կգ զանգված ունեցող մարմինն ազատ ընկնում է 3 վ-ի ընթացքում: Որոշել մարմնի պոտենցիալ էներգիան շարժման սկզբում:

19. 0,2 կգ զանգվածով մարմինը Երկրի մակերևույթից նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր` 20 մ/վ արագությամբ: Որոշել մարմնի պոտենցիալ էներգիան առավելագույն բարձրության վրա: Օդի դիմադրությունն անտեսել:

20. 2 կգ զանգվածով մարմինն ազատ ընկնում է 74,7 մ բարձրությունից: Որոշել այդ մարմնի պոտենցիալ էներգիան շարժումը սկսելուց 3 վ հետո:

21. Քարը նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր 10մ/վ արագությամբ: Ի՞նչ բարձրության վրա քարի կինետիկ էներգիան հավասար կլինի նրա պոտենցիալ էներգիային:

22. Ի՞նչ v_0 սկզբնական արագությամբ պետք է գնդակը h բարձրությունից վար նետել, որպեսզի այն ետ թռչի 2h բարձրության վրա: Հարվածը համարել բացարձակ առաձգական:

23. Մարմինը նետված է v_0 արագությամբ հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ: Գտնել նրա արագությունը h բարձրության վրա:

24. 25 կգ զանգվածով բեռը կախված է 2,5 մ երկարությամբ քուղից: Ի՞նչ առավելագույն բարձրությամբ կարելի է կողքի տանել բեռը, որպեսզի հետագա ազատ ճոճումների ժամանակ քուղը չկտրվի: Քուղի կտրման ամրությունը 550 Ն է:

25. Բեռնածիների մրցումների ժամանակ ծիերից մեկը 1,5 տ բեռով 2 կմ ճա-

6. Որքա՞ն է ուժաչափի զսպանակի երկարացումը, եթե ուժաչափի ցուցմունքը 40Ն է, իսկ ձգման ժամանակ կատարվել է 1,6Ջ աշխատանք:

7. Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել 3000 Ն/մ կոշտություն ունեցող զսպանակը 0,008 մ-ով ձգելու համար:

8. Զսպանակը $4\cdot10^{-3}$ մ-ով ձգելու համար անհրաժեշտ է կատարել 0,02 Ջ աշխատանք: Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել զսպանակը $4\cdot10^{-2}$ մ-ով ձգելու համար:

9. Զսպանակը 0,05մ-ով սեղմելու համար անհրաժեշտ է կատարել 8Ջ աշխատանք: Որոշել զսպանակի կոշտությունը:

10. Պոմպի օգտակար հզորությունը 10 կՎտ է: Ի՞նչ ծավալի ջուր կարող է բարձրացնել այդ պոմպը 18 մ խորությունից 1ժ-ում:

11. 900 կմ/ժ արագությամբ թռչող ինքնաթիռի չորս շարժիչները միասին զարգացնում են 30 ՄՎտ հզորություն: Գտնել մեկ շարժիչի զարգացրած քարշի ուժն այդ ռեժիմում:

12. Վերամբարձ կռունկը, որի շարժիչի հզորությունը $8\cdot10^{3}$ Վտ է, բեռը բարձրացնում է 0,1 մ/վ հաստատուն արագությամբ: Ինչի՞ է հավասար բեռի զանգվածը:

13. Էլեկտրագնացքի քարշի ուժը $2{,}4\cdot10^{5}$ Ն է, իսկ շարժիչի զարգացրած հզորությունը՝ $3\cdot10^{6}$ Վտ: Ի՞նչ ժամանակամիջոցում էլեկտրագնացքն ուղղագիծ հավասարաչափ կանցնի $1{,}5\cdot10^{4}$ մ:

14. Ի՞նչ աշխատանք է կատարվում 1000 տ զանգված ունեցող գնացքը կանգնեցնելու ժամանակ, եթե այն շարժվում է 108 կմ/ժ արագությամբ:

15. 0,5 մ շառավիղ ունեցող շրջանագծով հավասարաչափ շարժվող մարմինն օժտված է 10 Ջ կինետիկ էներգիայով: Ի՞նչ ուժ է ազդում մարմնի վրա: Ի՞նչ ուղղություն ունի այդ ուժը, և ինչի՞ է հավասար նրա աշխատանքը:

16. 4 տ զանգվածով ավտոմեքենան շարժվում է 36կմ/ժ արագությամբ: Ի՞նչ ճանապարհ անցավ ավտոմեքենան մինչև լրիվ կանգ առնելը, եթե անիվների՝ ճանապարհի հետ շփման ուժը հավասար է 5882 Ն:

17. Ի՞նչ արագությամբ էր շարժվում $1{,}5\cdot10^{6}$ կգ զանգվածով գնացքը, եթե $1{,}5\cdot10^{5}$ Ն արգելակող ուժի ազդեցությամբ արգելակման սկզբից մինչև կանգ առնելն այն անցնում է 500 մ:

18. 2 կգ զանգված ունեցող մարմինն ազատ ընկնում է 3 վ-ի ընթացքում: Որոշել մարմնի պոտենցիալ էներգիան շարժման սկզբում:

19. 0,2 կգ զանգվածով մարմինը Երկրի մակերևույթից նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր՝ 20 մ/վ արագությամբ: Որոշել մարմնի պոտենցիալ էներգիան առավելագույն բարձրության վրա: Օդի դիմադրությունն անտեսել:

20. 2 կգ զանգվածով մարմինն ազատ ընկնում է 74,7 մ բարձրությունից: Որոշել այդ մարմնի պոտենցիալ էներգիան շարժումը սկսելուց 3 վ հետո:

21. Քարը նետված է ուղղաձիգ դեպի վեր 10մ/վ արագությամբ: Ի՞նչ բարձրության վրա քարի կինետիկ էներգիան հավասար կլինի նրա պոտենցիալ էներգիային:

22. Ի՞նչ v_0 սկզբնական արագությամբ պետք է գնդակը h բարձրությունից վար նետել, որպեսզի այն ետ թռչի $2h$ բարձրության վրա: Հարվածը համարել բացարձակ առաձգական:

23. Մարմինը նետված է v_0 արագությամբ հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ: Գտնել նրա արագությունը h բարձրության վրա:

24. 25 կգ զանգվածով բեռը կախված է 2,5 մ երկարությամբ քուղից: Ի՞նչ առավելագույն բարձրությամբ կարելի է կողքի տանել բեռը, որպեսզի հետագա ազատ ճոճումների ժամանակ քուղը չկտրվի: Քուղի կտրման ամրությունը 550 Ն է:

25. Բեռնածիերի մրցումների ժամանակ ձիերից մեկը 1,5 տ բեռով 2 կմ ճա-

ճապարիը փարգով անցավ 5ր 3,8վ-ում, իսկ մյուսը նույն հեռավորության վրա 4,5 տ զանգվածով բեռը քաշլատրոփ հասցրեց 14ր 14վ-ում: Գտնել այդ ծիերի զարգացրած օգտակար հզորություն-ները, եթե դիմադրության գործակիցը հավասար է 0,01-ի:

26. *Երկար, բարակ թելից կախված m զանգվածով գնդիկը հավասարակշռության դիրքից բերել են հորիզոնական դիրքի և բաց թողել: Գնդիկի շարժման ժամանակ ուղղաձիգի հետ թելի կազմած ի՞նչ անկյան դեպքում թելի լարման ուժը հավասար կլինի 1,5mg-ի:*

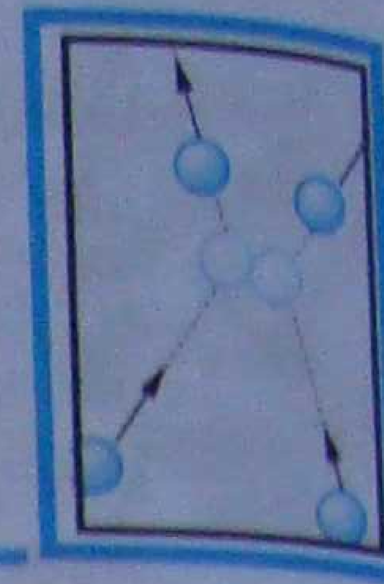
27. *Ոչ մեծ մարմինն առանց շփման ցած է սահում գնդի մակերևույթով՝ նրա գագաթից: Ի՞նչ բարձրության վրա այն կպոկվի գնդից: Գնդի շառավիղը 3 մ է:*

ԳԼՈՒԽ 8-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ուժի աշխատանքը սկալյար մեծություն է, որը հավասար է ուժի մոդուլի, տեղափոխության մոդուլի և ուժի ու տեղափոխության վեկտորների կազմած անկյան կոսինուսի արտադրյալին:
2. Մարմնի վրա ազդող ուժերի համազորի աշխատանքը հավասար է մարմնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությանը:
3. Մարմնի վրա ազդող պոտենցիալային ուժի (մասնավորապես, ծանրության և առաձգականության ուժի) աշխատանքը հավասար է այդ ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը՝ հակառակ նշանով: Ծանրության ուժի դեպքում պոտենցիալ էներգիան հավասար է mgh-ի, որտեղ h-ը մարմնի բարձրությունն է Երկրի մակերևույթից, որն ընտրվում է որպես զրոյական մակարդակ: Դեֆորմացված զսպանակի պոտենցիալ էներգիան հավասար է $kx^2/2$:
4. Պոտենցիալային ուժերով փոխազդող մարմինների փակ համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է:
5. Մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիայի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող ոչ պոտենցիալային ուժերի և արտաքին ուժերի գումարային աշխատանքին:



ԻՄՊՈՒԼՍԻ ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔԸ



§ 43. Մարմնի իմպուլս և ուժի իմպուլս: Իմպուլսի պահպանման օրենքը

Մարմնի վրա Δt ժամանակամիջոցում ազդող $\vec{F}$ հաստատուն ուժի և այդ ժամանակամիջոցի $\vec{F}\Delta t$ արտադրյալը կոչվում է ***ուժի իմպուլս***: Ուժի իմպուլսը վեկտորական մեծություն է, քանի որ ժամանակամիջոցը սկալյար է: Սահմանումից հետևում է, որ ուժի իմպուլսի միավորը ՄՀ-ում Ն·վ-ն է:

Ուսումնասիրենք մարմնի վրա ազդող ուժի իմպուլսի կապը նրա շարժման վիճակի փոփոխության հետ: Եթե $\vec{F}$ հաստատուն ուժն ազդում է m զանգվածով մարմնի վրա, ապա, համաձայն Նյուտոնի երկրորդ օրենքի՝

$$\vec{F} = m\vec{a}: \quad (9.1)$$

Բայց ըստ արագացման սահմանման՝

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}, \quad (9.2)$$

որտեղ $\Delta\vec{\upsilon}$-ն մարմնի շարժման արագության փոփոխությունն է Δt ժամանակամիջոցում: (9.1) և (9.2) հավասարումներից՝

$$\boxed{\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{\upsilon}}: \quad (9.3)$$

Եթե Δt ժամանակամիջոցի սկզբում մարմնի արագությունը եղել է $\vec{\upsilon}_0$, վերջում՝ $\vec{\upsilon}$, ապա՝

$$\boxed{\vec{F}\Delta t = m(\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0) = m\vec{\upsilon} - m\vec{\upsilon}_0}: \quad (9.4)$$

Ստացվեց, որ ուժի ազդեցության ժամանակային բնութագիրը կապված է մի ֆիզիկական մեծության փոփոխության հետ, որը հավասար է մարմնի զանգվածի և արագության արտադրյալին: Այդ մեծությունը կոչվում է ***մարմնի իմպուլս***:

Մարմնի իմպուլսը վեկտորական մեծություն է: Իմպուլսի վեկտորի ուղղությունը համընկնում է արագության վեկտորի ուղղության հետ:

Ընդունված է ասել, որ m զանգված ունեցող և $\vec{\upsilon}$ արագությամբ շարժվող մարմինն օժտված է $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$ իմպուլսով:

ՄՀ-ում իմպուլսի միավորը 1 կգ զանգվածով և 1 մ/վ արագությամբ շարժվող մարմնի իմպուլսն է: Իմպուլսի միավորը կիլոգրամ-մետր-վայրկյանն է (կգ·մ/վ):

Օգտվելով իմպուլսի սահմանումից՝ (9.4) հավասարումը կարելի է ներկայացնել՝

$$\boxed{\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t} \quad (9.5)$$

տեսքով, որը Նյուտոնի երկրորդ օրենքի գրառման ամենաընդհանուր ձևն է:

Մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է մարմնի վրա ազդող ուժի իմպուլսին:

Իմպուլսն առանձնահատուկ է նրանով, որ տվյալ ուժի ազդեցությամբ այն միատեսակ է փոփոխվում բոլոր մարմինների համար, եթե ուժի ազդեցության տևողությունը նույնն է: Որոշակի ժամանակամիջոցում տվյալ ուժը միատեսակ իմպուլս կհաղորդի թե՛ բեռնված լաստանավին և թե՛ թեթև մարզական մակույկին, ուստի նույն ժամանակում մակույկը ձեռք կբերի ավելի մեծ արագություն, քան լաստանավը: Իսկ տարբեր զանգվածներ ունեցող մարմիններին տվյալ ուժի ազդեցությամբ միատեսակ արագություն հաղորդելու համար կպահանջվեն տարբեր ժամանակներ: Որքան մեծ է մարմնի զանգվածը, այնքան մեծ ժամանակ է պահանջվում դրա համար:

Մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը որոշվում է ուժի իմպուլսով: Այսպես, կարճատև ազդող մեծ ուժը մարմնի իմպուլսը կարող է փոխել նույնքանով, որքանով ավելի երկար ժամանակ ազդող փոքր ուժը: Եթե մարմնի վրա ուժ չի ազդում, ապա նրա իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է զրոյի, այսինքն՝ այդ դեպքում իմպուլսը պահպանվում է: Սա Նյուտոնի առաջին օրենքն է:

(9.5) բանաձևն արտածելիս մենք ենթադրեցինք, որ մարմնի վրա ազդող ուժը հաստատուն է: Եթե ուժը, ժամանակից կախված, փոփոխվում է, ապա նրա ազդման ժամանակամիջոցը կարելի է տրոհել այնպիսի փոքր ժամանակամիջոցների, որոնցից յուրաքանչյուրում հնարավոր լինի ուժը համարել հաստատուն, որոշել ուժի իմպուլսը յուրաքանչյուր ժամանակամիջոցում և, գումարելով ստացված փոփոխությունները, գտնել ուժի իմպուլսն այն ամբողջ ժամանակամիջոցում, որի ընթացքում ուժն ազդել է:

• **Նյուտոնի երկրորդ օրենքը մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի համար:** (9.5) հավասարումն արտահայտում է Նյուտոնի երկրորդ օրենքն առանձին վերցրած մարմնի համար: Ինչպես և էներգիան, իմպուլսի հասկացությունը կարելի է կիրառել ոչ միայն առանձին մարմնի, այլև մարմինների համակարգի համար: Մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի իմպուլս կոչվում է այդ համակարգը կազմող մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը.

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \cdots + \vec{p}_n : \quad (9.6)$$

Եթե, օրինակ, համակարգը կազմված է երկու մարմնից, ապա նրա իմպուլսը՝

$$\vec{p} = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 ,$$

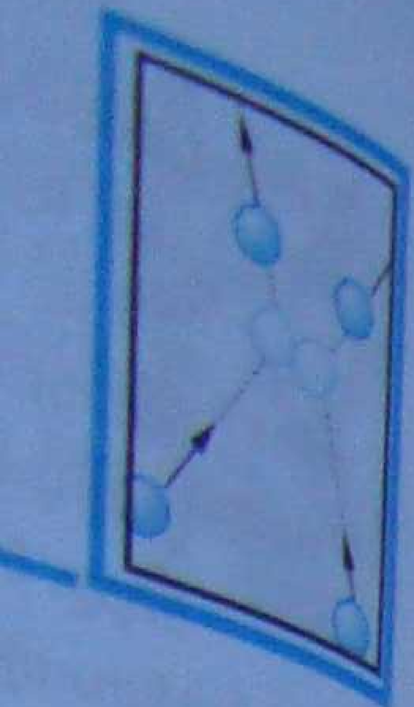
որտեղ m_1-ը և m_2-ը մարմինների զանգվածներն են, $\vec{\upsilon}_1$-ը և $\vec{\upsilon}_2$-ը՝ արագությունները:

(9.6) սահմանումից հետևում է, որ համակարգի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է համակարգը կազմող մարմինների իմպուլսների փոփոխությունների երկրաչափական գումարին.

$$\Delta\vec{p} = \Delta\vec{p}_1 + \Delta\vec{p}_2 + \cdots + \Delta\vec{p}_n : \quad (9.7)$$

Համակարգի իմպուլսի $\Delta\vec{p}$ փոփոխությունը, ինչպես առանձին վերցրած մարմնի դեպքում, կապված է համակարգում գործող ուժերի իմպուլսների հետ: Նյուտոնի երկրորդ օրենքը կիրառելով համակարգը կազմող մարմիններից յուրաքանչյուրի համար՝ կստանանք համակարգի իմպուլսի $\Delta\vec{p}$ փոփոխության կապը համակարգում գործող ուժերի իմպուլսների հետ՝

$$\Delta\vec{p} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n)\Delta t : \quad (9.8)$$



Մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է մարմնի վրա ազդող ուժի իմպուլսին:

Իմպուլսն առանձնահատուկ է նրանով, որ տվյալ ուժի ազդեցությամբ այն միատեսակ է փոփոխվում բոլոր մարմինների համար, եթե ուժի ազդեցության միատևողությունը նույնն է: Որոշակի ժամանակամիջոցում տվյալ ուժը միատեսակ իմպուլս կհաղորդի թե՛ բեռնված լաստանավին և թե՛ թեթև մարզական նավակին, ուստի նույն ժամանակում նավակը ձեռք կբերի ավելի մեծ արագություն, քան լաստանավը: Իսկ տարբեր զանգվածներ ունեցող մարմիններին տվյալ ուժի ազդեցությամբ միատեսակ արագություն հաղորդելու համար կպահանջվեն տարբեր ժամանակներ: Որքան մեծ է մարմնի զանգվածը, այնքան մեծ ժամանակ է պահանջվում դրա համար:

Մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը որոշվում է ուժի իմպուլսով: Այսպես, կարճատև ազդող մեծ ուժը մարմնի իմպուլսը կարող է փոխել նույնքանով, որքանով ավելի երկար ժամանակ ազդող փոքր ուժը: Եթե մարմնի վրա ուժ չի ազդում, ապա նրա իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է զրոյի, այսինքն՝ այդ դեպքում իմպուլսը պահպանվում է: Սա Նյուտոնի առաջին օրենքն է:

(9.5) բանաձևն արտածելիս մենք ենթադրեցինք, որ մարմնի վրա ազդող ուժը հաստատուն է: Եթե ուժը, ժամանակից կախված, փոփոխվում է, ապա նրա ազդման ժամանակամիջոցը կարելի է տրոհել այնպիսի փոքր ժամանակամիջոցների, որոնցից յուրաքանչյուրում հնարավոր լինի ուժը համարել հաստատուն, որոշել ուժի իմպուլսը յուրաքանչյուր ժամանակամիջոցում և, գումարելով ստացված փոփոխությունները, գտնել ուժի իմպուլսն այն ամբողջ ժամանակամիջոցում, որի ընթացքում ուժն ազդել է:

• ***Նյուտոնի երկրորդ օրենքը մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի համար:*** (9.5) հավասարումն արտահայտում է Նյուտոնի երկրորդ օրենքն առանձին վերցրած մարմնի համար: Ինչպես և էներգիան, իմպուլսի հասկացությունը կարելի է կիրառել ոչ միայն առանձին մարմնի, այլև մարմինների համակարգի համար: Մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի իմպուլս կոչվում է այդ համակարգը կազմող մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը.

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \cdots + \vec{p}_n : \tag{9.6}$$

Եթե, օրինակ, համակարգը կազմված է երկու մարմնից, ապա նրա իմպուլսը՝

$$\vec{p} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 ,$$

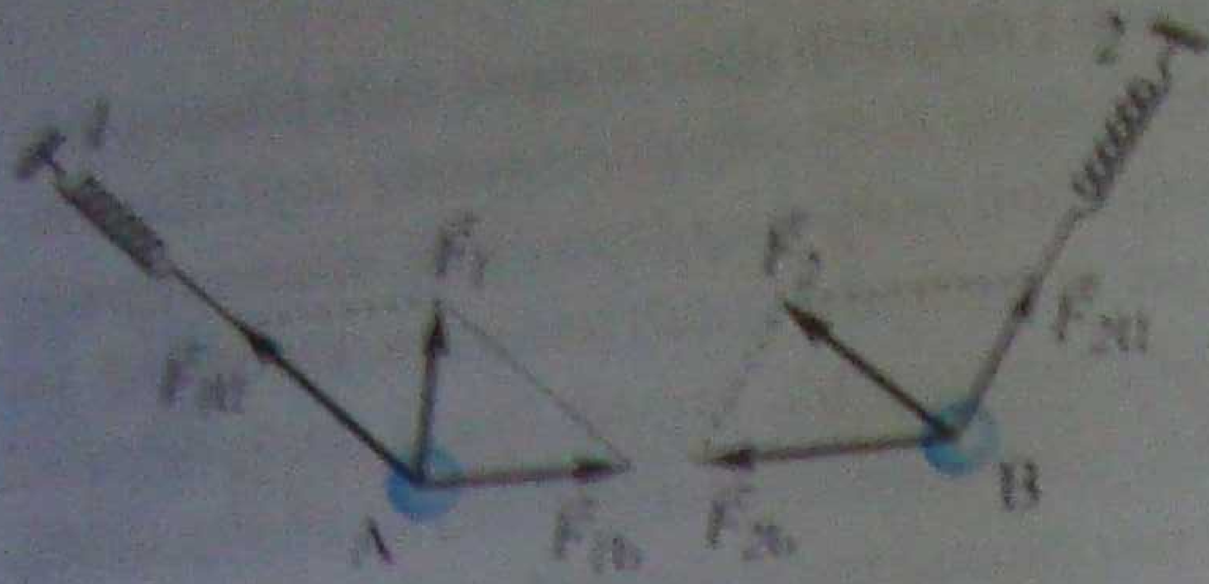
որտեղ m_1-ը և m_2-ը մարմինների զանգվածներն են, $\vec{v}_1$-ը և $\vec{v}_2$-ը՝ արագությունները:

(9.6) սահմանումից հետևում է, որ համակարգի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է համակարգը կազմող մարմինների իմպուլսների փոփոխությունների երկրաչափական գումարին.

$$\Delta\vec{p} = \Delta\vec{p}_1 + \Delta\vec{p}_2 + \cdots + \Delta\vec{p}_n : \tag{9.7}$$

Համակարգի իմպուլսի $\Delta\vec{p}$ փոփոխությունը, ինչպես առանձին վերցրած մարմնի դեպքում, կապված է համակարգում գործող ուժերի իմպուլսների հետ: Նյուտոնի երկրորդ օրենքը կիրառելով համակարգը կազմող մարմիններից յուրաքանչյուրի համար՝ կստանանք համակարգի իմպուլսի $\Delta\vec{p}$ փոփոխության կապը համակարգում գործող ուժերի իմպուլսների հետ՝

$$\boxed{\Delta\vec{p} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n)\Delta t} : \tag{9.8}$$



Նկ. 108

Այստեղ $\vec{F}_1$-ը, $\vec{F}_2$-ը, ..., $\vec{F}_n$-ը համակարգը կազմող մարմիններից յուրաքանչյուրի վրա ազդող ուժերն են: Այդ ուժերից յուրաքանչյուրը կարելի է վերածել երկու բաղադրիչ ուժերի, որոնցից մեկը տվյալ մարմնի վրա համակարգի մեջ մտնող մնացած մարմինների կողմից ազդող ուժերի համազորն է (այդ ուժերը կոչվում են *ներքին ուժեր*): Մյուս բաղադրիչը համակարգի մեջ չմտնող՝ այլ մարմինների կողմից տվյալ մարմնի վրա ազդող ուժերի համազորն է (այդ ուժերը կոչվում են *արտաքին* ուժեր): Այդ դեպքում (9.8) հավասարումը կարելի է ձևակերպել այսպես.

Համակարգի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է համակարգի բոլոր մարմինների վրա ազդող ներքին և արտաքին ուժերի իմպուլսների գումարին:

Ուժերի դասակարգումը ներքին և արտաքին ուժերի կապված է այն բանի հետ, որ ***համակարգում գործող բոլոր ներքին ուժերի գումարը հավասար է զրոյի:*** Այս պնդումը բավականին հեշտությամբ ապացուցվում է, օրինակ, երկու մարմիններից կազմված համակարգի համար: Նկ. 108-ում պատկերված է A և B մարմիններից կազմված համակարգը: A մարմնի վրա ազդող $\vec{F}_1$ ուժը հավասար է 1 զսպանակի կողմից նրա վրա ազդող $\vec{F}_{1\text{ա}}$ արտաքին ուժի և B մարմնի կողմից ազդող $\vec{F}_{1\text{ն}}$ ներքին ուժի գումարին: B մարմնի վրա ազդող $\vec{F}_2$ ուժը հավասար է 2 զսպանակի կողմից նրա վրա ազդող $\vec{F}_{2\text{ա}}$ արտաքին և A մարմնի կողմից ազդող $\vec{F}_{2\text{ն}}$ ներքին ուժի գումարին: Հետևաբար՝ համակարգի մարմինների վրա ազդող ուժերի գումարը՝

$$\vec{F}_1+\vec{F}_2=\vec{F}_{1\text{ա}}+\vec{F}_{1\text{ն}}+\vec{F}_{2\text{ա}}+\vec{F}_{2\text{ն}}=\vec{F}_{1\text{ա}}+\vec{F}_{2\text{ա}}+(\vec{F}_{1\text{ն}}+\vec{F}_{2\text{ն}}) :$$

Համաձայն Նյուտոնի երրորդ օրենքի՝ $\vec{F}_{1\text{ն}}=-\vec{F}_{2\text{ն}}$, ուստի՝ $\vec{F}_{1\text{ն}}+\vec{F}_{2\text{ն}}=0$, այսինքն՝ ներքին ուժերի գումարը, իրոք, հավասար է զրոյի: Հետևաբար՝

$$\vec{F}_1+\vec{F}_2=\vec{F}_{1\text{ա}}+\vec{F}_{2\text{ա}} :$$

Ստացվեց, որ ***համակարգում գործող բոլոր ուժերի գումարը հավասար է արտաքին ուժերի գումարին:*** Կարելի է ցույց տալ, որ այս արդյունքը ճիշտ է ոչ միայն երկու, այլև կամայական թվով մարմիններից կազմված համակարգի համար:

Համակարգի բոլոր մարմինների վրա ազդող ուժերի գումարը հավասար է այդ մարմինների վրա ազդող արտաքին ուժերի գումարին:

Եթե արտաքին ուժերի գումարը նշանակենք $\vec{R}$-ով, ապա (9.8) հավասարումը կարող ենք գրել այսպես՝

$$\boxed{\Delta\vec{p}=\vec{R}\Delta t} : \qquad (9.9)$$

Համակարգի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող արտաքին ուժերի գումարի իմպուլսին:

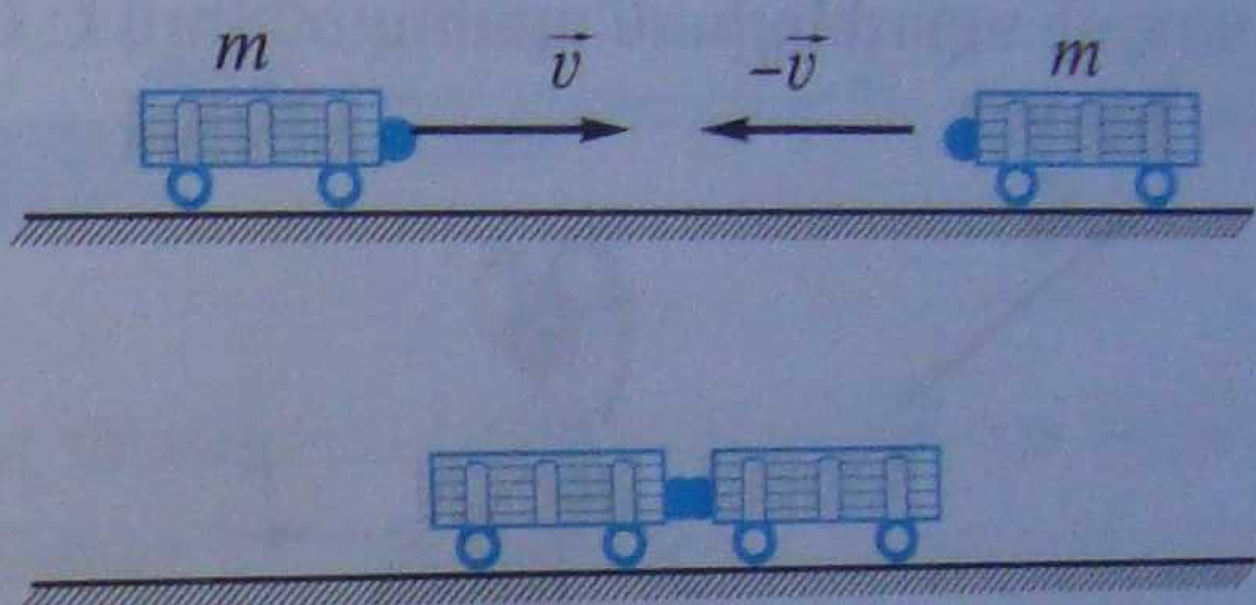
(9.9) հավասարումը Նյուտոնի երկրորդ օրենքն է մարմինների համակարգի համար: Այդ օրենքից բխում է իմպուլսի մի շատ կարևոր առանձնահատկություն՝ համակարգի մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը մնում է անփոփոխ, չնայած այն

քանին, որ առանձին մարմինների իմպուլսները փոփոխվում են: Ուսումնասիրենք մի քանի այդպիսի դեպք.

1. Համակարգի վրա արտաքին ուժեր չեն ազդում ($\vec{R}=0$): Համակարգը, որի վրա արտաքին ուժեր չեն ազդում, մենք անվանել ենք մարմինների փակ համակարգ: (9.9) հավասարումից հետևում է, որ եթե $\vec{R}=0$, ապա` $\Delta\vec{p}=0$, այսինքն` փակ համակարգ կազմող մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը մնում է անփոփոխ: Իհարկե, մարմինների իմպուլսները փոփոխվում են, քանի որ մարմիններից յուրաքանչյուրի վրա մյուսների կողմից ազդում են փոխազդեցության ուժերը, բայց նրանց իմպուլսների գումարը մնում է հաստատուն: Այդ պնդումը կոչվում է ***իմպուլսի պահպանման օրենք:***

Փակ համակարգ կազմող մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը մնում է հաստատուն այդ համակարգի մարմինների ցանկացած փոխազդեցության դեպքում:

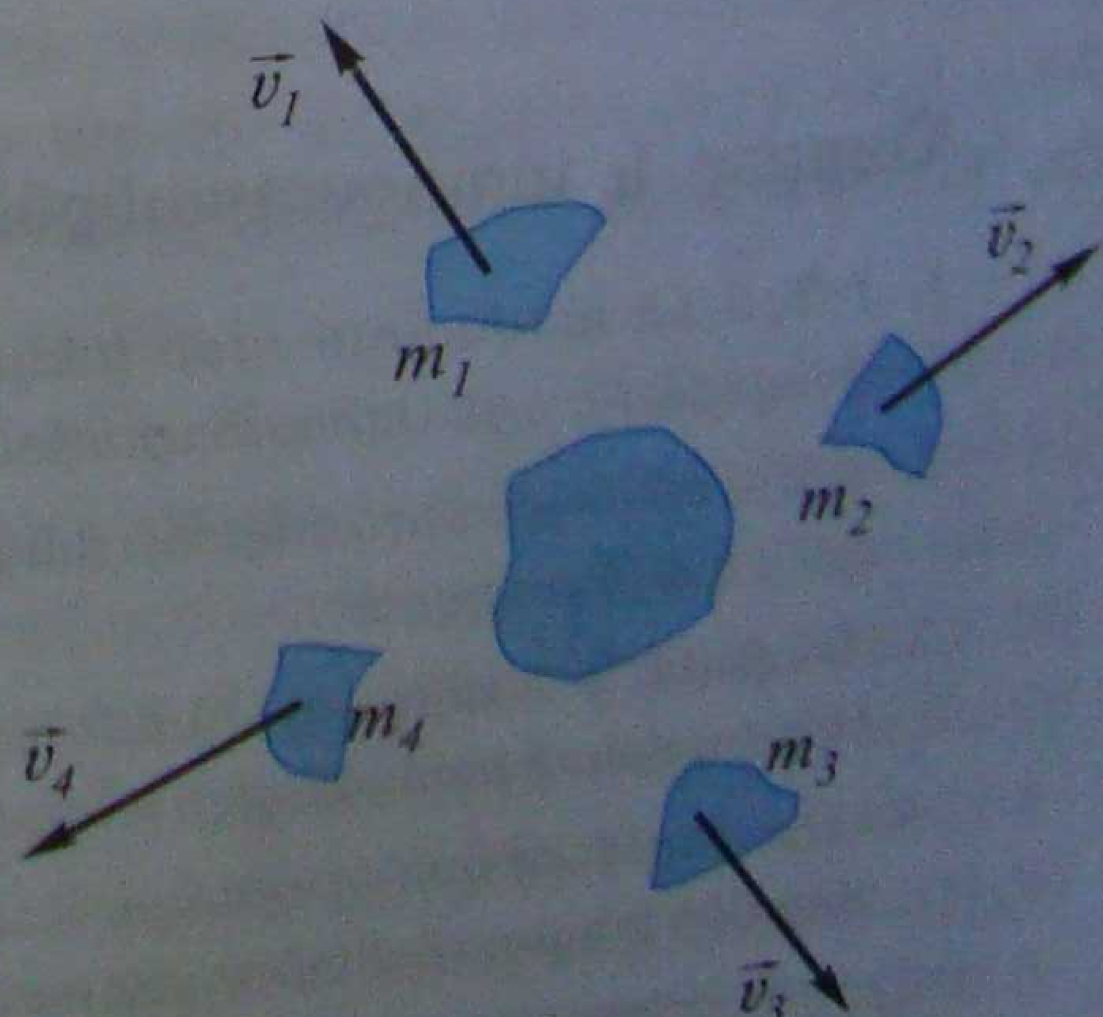
Իմպուլսի պահպանման օրենքը բնության կարևորագույն օրենքներից մեկն է: Այդ օրենքի իրավացիությունը կարելի է ցույց տալ հետևյալ պարզ փորձով:



Նկ. 109

Ռելսերի վրա դնենք միատեսակ m զանգվածով երկու սայլակ: Սայլակների` միմյանց նայող ճակատներին ամրացնենք պլաստիլինե գնդիկներ: Երբ սայլակներին հաղորդվում են մոդուլով հավասար, ուղղությամբ հակադիր արագություններով շարժումներ (նկ. 109), նրանք, իրար բախվելով, կանգ են առնում: Մինչև բախումը ձախ սայլակի իմպուլսն $m\vec{v}$ է, իսկ աջինը` $-m\vec{v}$: Նշանակում է` նրանց ընդհանուր իմպուլսը մինչև բախվելը հավասար էր զրոյի: Բախվելուց հետո սայլակները կանգ են առել: Հետևաբար` բախվելուց հետո էլ սայլակների գումարային իմպուլսը հավասար է զրոյի, ինչպես և պահանջում է իմպուլսի պահպանման օրենքը:

2. Համակարգում արագ ընթացող պրոցես է տեղի ունենում: (9.9) հավասարումից հետևում է, որ $\Delta\vec{p}\approx 0$ նաև այն դեպքում, երբ Δt -ն շատ փոքր է: Սա նշանակում է, որ համակարգի իմպուլսը պահպանվում է նաև այն դեպքերում, երբ համակարգը փակ չէ, բայց նրանում ընթացող պրոցեսն այնքան կարճատև է, որ արտաքին ուժերը չեն հասցնում նկատելիորեն փոխել համակարգի իմպուլսը: Այդ դեպքերում համակարգում գործող ներքին ուժերը շատ անգամ գերազանցում են արտաքին ուժերին: Այդպիսի դեպքերից են մարմինների զանազան բախումները, կրակոցները, պայթյունները և այլն: Օրինակ` դեպի վեր արձակված ռումբը հետագծի ամենաբարձր կետում, այսինքն` այն պահին, երբ նրա արագությունը հավասար է զրոյի, պայթում է (նկ. 110): Մինչ պայթյունը ռումբի իմպուլսը հավասար է զրոյի: Քանի որ պայթյունը շատ արագ է տեղի ունենում, նրա վրա ազդող ծանրության ուժն այդ ընթացքում չի հասցնում նկատելիորեն փոխել իմպուլսը, և պայթյու-



Նկ. 110

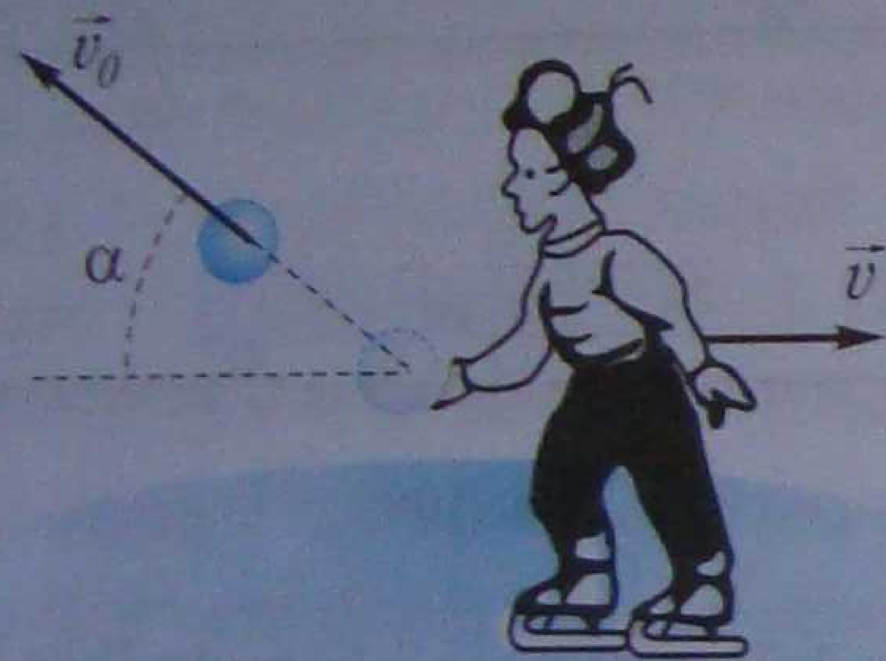
ճիչ հետո առաջացած բեկորների իմպուլսների գումարը նույնպես հավասար է լինում զրոյի՝

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_3 + m_4\vec{v}_4 = 0:$$

3. Արտաքին ուժերի պրոյեկցիաների գումարը որևէ ուղղությամբ հավասար է զրոյի: Նյուտոնի երկրորդ օրենքն արտահայտող (9.9) վեկտորական հավասարումից հետևում է, որ համակարգի իմպուլսի փոփոխության պրոյեկցիան ցանկացած կոորդինատային (օրինակ՝ X) առանցքի վրա հավասար է այդ նույն առանցքի վրա արտաքին ուժերի գումարի պրոյեկցիայի իմպուլսին՝

$$\Delta p_x = R_x \Delta t: \qquad (9.10)$$

(9.10) հավասարումից հետևում է, որ եթե $R_x = 0$, ապա $\Delta p_x = 0$, այսինքն՝ եթե համակարգը փակ չէ, բայց համակարգի վրա ազդող արտաքին ուժերի պրոյեկցիաների գումարը որևէ ուղղությամբ հավասար է զրոյի, ապա այդ ուղղությամբ համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան պահպանվում է: Օրինակ, երբ սահադաշտում կանգնած չմշկորդը հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ դեպի ձախ մարմին է նետում (նկ. 111), ինքը դեպի աջ ուղղված արագություն է ստանում: Բանն այն է, որ «չմշկորդ-մարմին» համակարգի վրա հորիզոնական ուղղությամբ ուժեր չեն ազդում, ուստի համակարգի իմպուլսի հորիզոնական բաղադրիչը պահպանվում է: Մինչև մարմինը նետելը համակարգի իմպուլսը, հետևաբար՝ նաև նրա հորիզոնական բաղադրիչը, հավասար էր զրոյի: Նետելուց հետո մարմինը ստանում է



Նկ. 111

$m\vec{v}_0$ իմպուլս, որի հորիզոնական բաղադրիչն ուղղված է դեպի ձախ և հավասար է $mv_0 cos\alpha$: Մոդուլով դրան հավասար, իսկ ուղղությամբ՝ հակառակ իմպուլս պետք է ստանա չմշկորդը, որպեսզի համակարգի իմպուլսը մարմինը նետելուց հետո էլ հավասար լինի զրոյի՝ $Mv = mv_0 cos\alpha$, որտեղից՝

$$v = \frac{mv_0}{M} cos\,\alpha:$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում ուժի իմպուլս: Ի՞նչ միավորով է այն արտահայտվում:*
2. *Ի՞նչն են անվանում մարմնի իմպուլս: Ինչպե՞ս է այն ուղղված:*
3. *Կախվա՞ծ է արդյոք մարմնի իմպուլսը հաշվարկման համակարգի ընտրությունից:*
4. *Նյուտոնի երկրորդ օրենքը ձևակերպե՛ք մարմնի իմպուլսի փոփոխության միջոցով:*
5. *Ինչի՞ է հավասար համակարգի իմպուլսը:*
6. *Ո՞ր ուժերն են կոչվում ներքին ուժեր:*
7. *Ո՞ր ուժերն են կոչվում արտաքին ուժեր:*
8. *Ո՞ր համակարգն են անվանում փակ:*
9. *Ձևակերպե՛ք իմպուլսի պահպանման օրենքը:*

ճից հետո առաջացած բեկորների իմպուլսների գումարը նույնպես հավասար է լինում զրոյի՝

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_3 + m_4\vec{v}_4 = 0 :$$

3. Արտաքին ուժերի պրոյեկցիաների գումարը որևէ ուղղությամբ հավասար է զրոյի: Նյուտոնի երկրորդ օրենքն արտահայտող (9.9) վեկտորական հավասարումից հետևում է, որ համակարգի իմպուլսի փոփոխության պրոյեկցիան ցանկացած կոորդինատային (օրինակ՝ X) առանցքի վրա հավասար է այդ նույն առանցքի վրա արտաքին ուժերի գումարի պրոյեկցիայի իմպուլսին՝

$$\Delta p_x = R_x \Delta t : \tag{9.10}$$

(9.10) հավասարումից հետևում է, որ եթե $R_x = 0$, ապա $\Delta p_x = 0$, այսինքն՝ եթե համակարգը փակ չէ, բայց համակարգի վրա ազդող արտաքին ուժերի պրոյեկցիաների գումարը որևէ ուղղությամբ հավասար է զրոյի, ապա այդ ուղղությամբ համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան պահպանվում է: Օրինակ, երբ սահադաշտում կանգնած չմշկորդը հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ դեպի ձախ մարմին է նետում (նկ. 111), ինքը դեպի աջ ուղղված արագություն է ստանում: Բանն այն է, որ «չմշկորդ-մարմին» համակարգի վրա հորիզոնական ուղղությամբ ուժեր չեն ազդում, ուստի համակարգի իմպուլսի հորիզոնական բաղադրիչը պահպանվում է: Մինչև մարմինը նետելը համակարգի իմպուլսը, հետևաբար՝ նաև նրա հորիզոնական բաղադրիչը, հավասար էր զրոյի: Նետելուց հետո մարմինը ստանում է



Նկ. 111

$m\vec{v}_0$ իմպուլս, որի հորիզոնական բաղադրիչն ուղղված է դեպի ձախ և հավասար է $mv_0 cos\alpha$: Մոդուլով դրան հավասար, իսկ ուղղությամբ՝ հակառակ իմպուլս պետք է ստանա չմշկորդը, որպեսզի համակարգի իմպուլսը մարմինը նետելուց հետո էլ հավասար լինի զրոյի՝ $Mv = mv_0 cos\alpha$, որտեղից՝

$$v = \frac{mv_0}{M} cos\,\alpha :$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

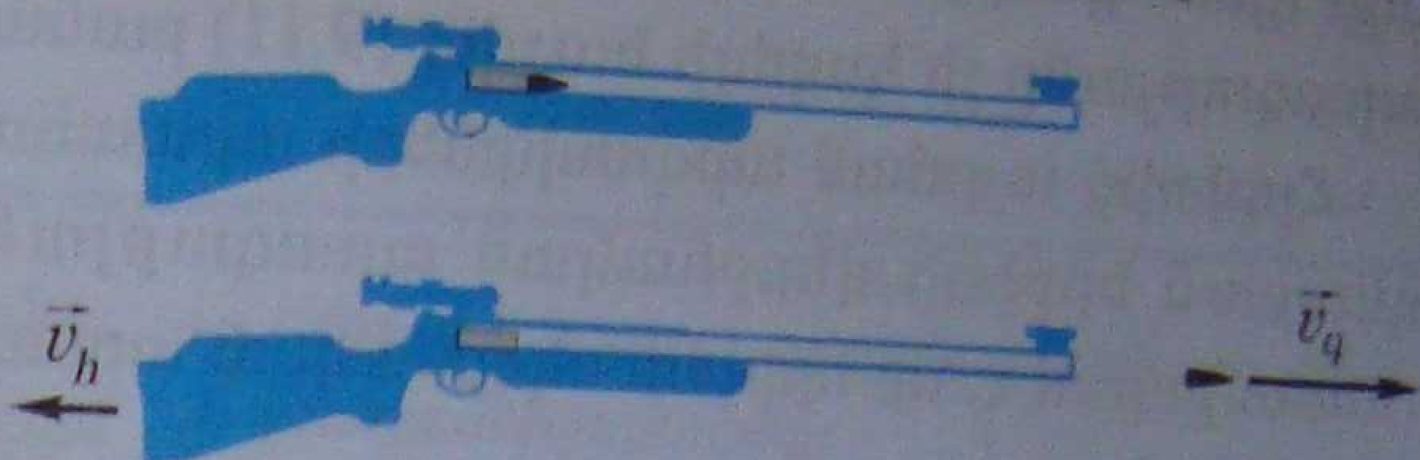
1. *Ի՞նչն են անվանում ուժի իմպուլս: Ի՞նչ միավորով է այն արտահայտվում:*
2. *Ի՞նչն են անվանում մարմնի իմպուլս: Ինչպե՞ս է այն ուղղված:*
3. *Կախվա՞ծ է արդյոք մարմնի իմպուլսը հաշվարկման համակարգի ընտրությունից:*
4. *Նյուտոնի երկրորդ օրենքը ձևակերպե՛ք մարմնի իմպուլսի փոփոխության միջոցով:*
5. *Ինչի՞ է հավասար համակարգի իմպուլսը:*
6. *Ո՞ր ուժերն են կոչվում ներքին ուժեր:*
7. *Ո՞ր ուժերն են կոչվում արտաքին ուժեր:*
8. *Ո՞ր համակարգն են անվանում փակ:*
9. *Ձևակերպե՛ք իմպուլսի պահպանման օրենքը:*

§ 44. Ռեակտիվ շարժում

Իմպուլսի պահպանման օրենքն ունի բազմաթիվ կիրառություններ, որոնցից կարևորագույնը, թերևս, ռեակտիվ շարժումն է: Ռեակտիվ շարժման հիմքում ընկած է երկու մարմինների փոխազդեցությունը, որոնք սկզբում մի ամբողջություն են կազմում և ապա, փոխազդեցության հետևանքով, ձեռք են բերում մոդուլով հավասար և հակադիր ուղղված իմպուլսներ: Այսպիսով՝ *ռեակտիվ կոչվում է այն շարժումը, երբ մարմնից որոշակի արագությամբ անջատվում է նրա մի մասը, իսկ մնացած մասը շարժվում է հակառակ ուղղությամբ*:

Ռեակտիվ շարժման օրինակ է կրակելիս հրացանի ստացած «հետհարվածը». կրակելուց հետո հրացանը շարժվում է գնդակի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ:

Մինչև կրակելը «հրացան-գնդակ» համակարգը գտնվում է դադարի վիճակում (նկ. 112), և համակարգի սկզբնական իմպուլսը՝ $p_0 = m_h \cdot 0 + m_q \cdot 0 = 0$, որտեղ m_h-ն հրացանի, իսկ m_q-ն՝ գնդակի զանգվածներն են: Քանի որ «հրացան-գնդակ» համակարգը կարող ենք համարել փակ (կրակոցը կատարվում է գրեթե ակնթարթորեն), ապա նրա իմպուլսը պահպանվում է: Եթե կրակելուց հետո գնդակի արագությունը նշանակենք $\vec{v}_q$-ով, իսկ հրացանինը՝ $\vec{v}_h$-ով, ապա իմպուլսի պահպանման օրենքի համաձայն՝



Նկ. 112

$$m_h\vec{v}_h + m_q\vec{v}_q = 0,$$

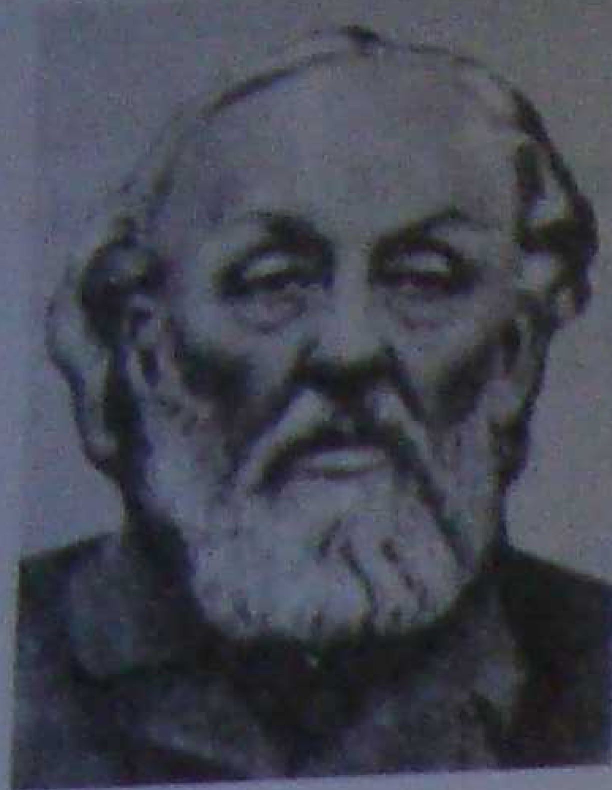
որտեղից՝

$$\vec{v}_h = -\frac{m_q}{m_h}\vec{v}_q: \qquad (9.11)$$

Ստացված առնչության համաձայն՝ հրացանի $\vec{v}_h$ արագությունն ուղղված է գնդակի $\vec{v}_q$ արագությանը հակադիր ուղղությամբ, իսկ նրա մոդուլը կախված է ինչպես գնդակի արագության մոդուլից, այնպես էլ m_q/m_h հարաբերության արժեքից:

Եթե հրացանի փոխարեն կրակենք ինքնաձիգից, ապա յուրաքանչյուր կրակոցից հետո այն ավելի ու ավելի մեծ արագություն ձեռք կբերի: Այսպիսով, որպեսզի որևէ շարժամիջոցի արագությունն անընդհատ մեծանա, անհրաժեշտ է նրանից զանգված դուրս նետել մարմնի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ:

Ցիոլկովսկու բանաձևը*: Այս նույն սկզբունքն է ընկած հրթիռի շարժման հիմքում: Հրթիռը (նկ. 113) բաղկացած է երկու հիմնական մասից՝ պատյան, որը պարունակում է օգտակար բեռը (գիտական սարքեր, վառելիք, ղեկավարման սարքեր, տիեզերագնացներ և այլն) և այրվող վառելիքի արգասիքները, որոնք մեծ արագությամբ ռեակտիվ շիթով արտանետվում են հրթիռից՝ նրան հաղորդելով իմպուլս շիթի արտանետմանը հակառակ ուղղությամբ: Հրթիռի արագությունը կարելի է որոշել իմպուլսի պահպանման օրենքից, սակայն, ի տարբերություն վերը քննարկված հրացանի (ինքնաձիգի) օրինակի, հրթիռի դեպքում պետք է նկատի ունենալ հետևյալ առանձնահատկությունները:



Ցիոլկովսկի Կոնստանտին Էդուարդովիչ (1857–1935)

Ռուս գիտնական և գյուտարար, ժամանակակից տիեզերագնացության հիմնադիր: Աշխատանքները վերաբերում են օդագնացությանը, հրթիռադինամիկային և տիեզերագնացությանը: Ուսումնասիրել է տիեզերական թռիչքների հնարավորությունը Արեգակնային համակարգում և նրանից դուրս:

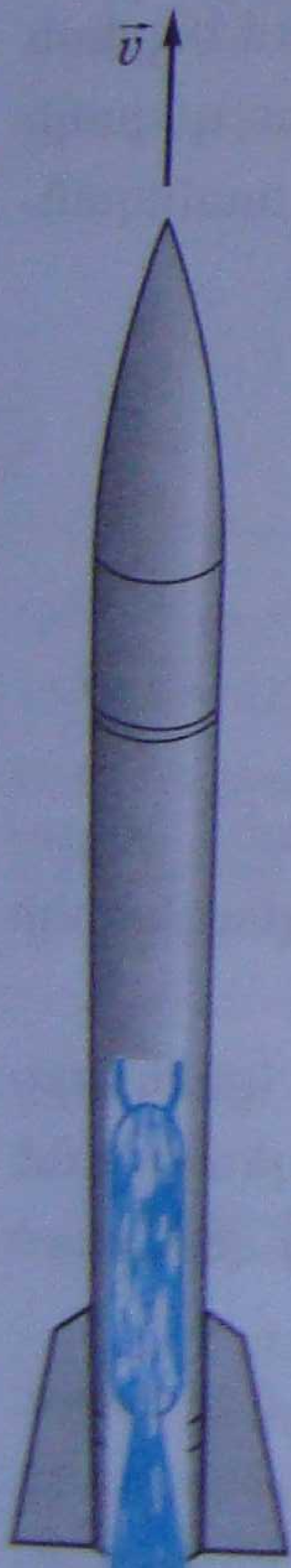
1. Նյութի արտահոսքը հրթիռից կատարվում է անընդհատորեն, որի հետևանքով հրթիռի զանգվածը շարժման ընթացքում անընդհատ նվազում է:

2. Երկրից մեկնարկելիս հրթիռի վրա ազդում են ծանրության և օդի դիմադրության ուժերը: Նշված պատճառները հանգեցնում են նրան, որ հրթիռի արագությունը չի կարելի հաշվել (9.11) բանաձևով:

Հրթիռից այրման արգասիքների արտահոսքի՝ հրթիռի նկատմամբ u արագության դեպքում հրթիռի վերջնական արագությունը որոշվում է Ցիոլկովսկու բանաձևով (ենթադրվում է, որ հրթիռի սկզբնական արագությունը հավասար է զրոյի)՝

$$v = 2{,}3\,u\lg\left(1+\frac{M}{M_0}\right), \qquad (9.12)$$

որտեղ M-ը վառելիքի զանգվածն է, M_0-ն՝ հրթիռի վերջնական զանգվածը: Հաշվարկի համաձայն, եթե $u = 2000$ մ/վ, ապա առաջին տիեզերական արագություն ($v \approx 8000$ մ/վ) ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ վառելիքի զանգվածը մոտ 54 անգամ գերազանցի հրթիռի վերջնական զանգվածը:

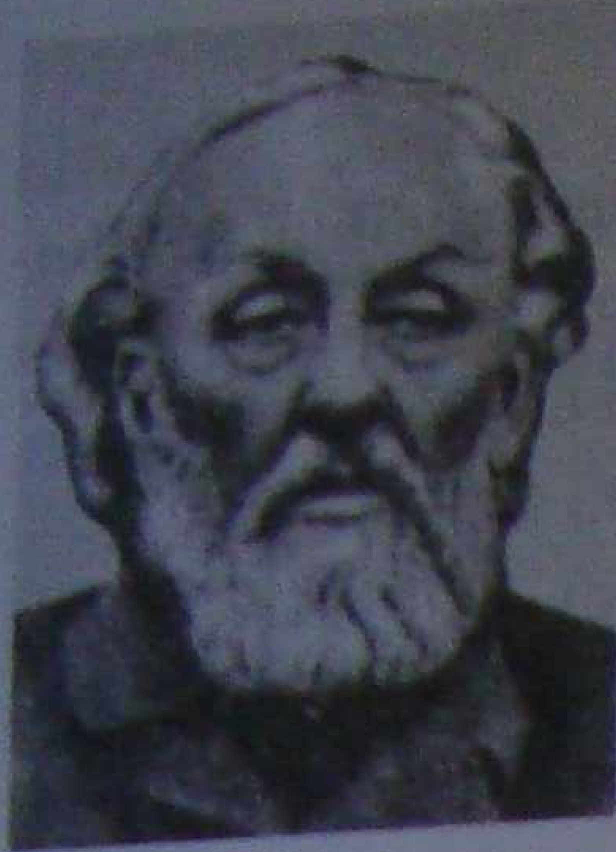


Նկ. 113

Տիեզերական թռիչքներ: Ի տարբերություն մյուս փոխադրամիջոցների (ավտոմեքենա, գնացք, նավ, ինքնաթիռ և այլն)՝ հրթիռը կարող է շարժվել՝ առանց փոխազդելու այլ մարմինների հետ, բացի իր մեջ պարունակվող վառելիքի արգասիքների: Հենց դա է պատճառը, որ հրթիռները տիեզերական տարածության մեջ շարժվելու, ճանապարհորդելու միակ միջոցն են:

Տիեզերական թռիչքների համար հրթիռների օգտագործման գաղափարը պատկանում է ռուս մեծ գիտնական Կ.Ցիոլկովսկուն: Նրա կանխատեսումներից առաջինն իրականացվեց Խորհրդային Միությունում, երբ 1957 թ. հոկտեմբերի 4-ին արձակվեց Երկրի առաջին արհեստական արբանյակը: Առաջին տիեզերագնացը Յու.Գագարինն է, որը 1961թ. ապրիլի 12-ին տիեզերանավով պտույտ կատարեց Երկրի շուրջը, իսկ 1969 թվականի հուլիսի 20-ին ԱՄՆ աստղագնաց Ն.Արմսթրոնգն առաջին անգամ ոտք դրեց Լուսնի վրա: Հայազգի առաջին տիեզերագնացը ԱՄՆ քաղաքացի Ջեյմս Բաղյանն է:

Մեծ է ռուս և ամերիկացի գիտնականների ներդրումը տիեզերքի յուրացման գործում: Ռուսական տիեզերական կայանքների օգնությամբ ուսումնասիրվել են Լուսինը, Արուսյակ և Հրատ մոլորակները: Ամերիկյան տիեզերագնացները հետազոտել են Լուսինը, ամերիկյան հրթիռներ են արձակվել դեպի հեռավոր Լուսնթագ և Երևակ մոլորակները:



Ցիոլկովսկի Կոնստանտին Էդուարդովիչ (1857–1935)

Ռուս գիտնական և գյուտարար, ժամանակակից տիեզերագնացության հիմնադիր: Աշխատանքները վերաբերում են օդագնացությանը, հրթիռադինամիկային և տիեզերագնացությանը: Ուսումնասիրել է տիեզերական թռիչքների հնարավորությունը Արեգակնային համակարգում և նրանից դուրս:

1. Նյութի արտահոսքը հրթիռից կատարվում է անընդհատորեն, որի հետևանքով հրթիռի զանգվածը շարժման ընթացքում անընդհատ նվազում է:

2. Երկրից մեկնարկելիս հրթիռի վրա ազդում են ծանրության և օդի դիմադրության ուժերը: Նշված պատճառները հանգեցնում են նրան, որ հրթիռի արագությունը չի կարելի հաշվել (9.11) բանաձևով:

Հրթիռից այրման արգասիքների արտահոսքի՝ հրթիռի նկատմամբ $\vec{u}$ արագության դեպքում հրթիռի վերջնական արագությունը որոշվում է Ցիոլկովսկու բանաձևով (ենթադրվում է, որ հրթիռի սկզբնական արագությունը հավասար է զրոյի)՝

$$v = 2,3\,u\lg\left(1+\frac{M}{M_0}\right), \qquad (9.12)$$



Նկ. 113

որտեղ M-ը վառելիքի զանգվածն է, M_0-ն՝ հրթիռի վերջնական զանգվածը: Հաշվարկի համաձայն, եթե $u = 2000$ մ/վ, ապա առաջին տիեզերական արագություն ($v \approx 8000$ մ/վ) ստանալու համար անհրաժեշտ է, որ վառելիքի զանգվածը մոտ 54 անգամ գերազանցի հրթիռի վերջնական զանգվածը:

Տիեզերական թռիչքներ: Ի տարբերություն մյուս փոխադրամիջոցների (ավտոմեքենա, գնացք, նավ, ինքնաթիռ և այլն)՝ հրթիռը կարող է շարժվել՝ առանց փոխազդելու այլ մարմինների հետ, բացի իր մեջ պարունակվող վառելիքի արգասիքների: Հենց դա է պատճառը, որ հրթիռները տիեզերական տարածության մեջ շարժվելու, ճանապարհորդելու միակ միջոցն են:

Տիեզերական թռիչքների համար հրթիռների օգտագործման գաղափարը պատկանում է ռուս մեծ գիտնական Կ.Ցիոլկովսկուն: Նրա կանխատեսումներից առաջինն իրականացվեց Խորհրդային Միությունում, երբ 1957 թ. հոկտեմբերի 4-ին արձակվեց Երկրի առաջին արհեստական արբանյակը: Առաջին տիեզերագնացը Յու.Գագարինն է, որը 1961թ. ապրիլի 12-ին տիեզերանավով պտույտ կատարեց Երկրի շուրջը, իսկ 1969 թվականի հուլիսի 20-ին ԱՄՆ աստղագնաց Ն.Արմսթրոնգն առաջին անգամ ոտք դրեց Լուսնի վրա: Հայազգի առաջին տիեզերագնացը ԱՄՆ քաղաքացի Ջեյմս Բաղյանն է:

Մեծ է ռուս և ամերիկացի գիտնականների ներդրումը տիեզերքի յուրացման գործում: Ռուսական տիեզերական կայանների օգնությամբ ուսումնասիրվել են Լուսինը, Արուսյակ և Հրատ մոլորակները: Ամերիկյան տիեզերագնացները հետազոտել են Լուսինը, ամերիկյան հրթիռներ են արձակվել դեպի հեռավոր Լուսնթագ և Երևակ մոլորակները:



Բաղյան Ջեյմս Ֆիլիպի (ծն. 1952)

Ամերիկյան տիեզերագնաց-օդաչու, հայազգի առաջին տիեզերագնացը: Բժշկագիտության դոկտոր: 1989 թ. մարտի 13–18-ը, որպես բժշկական-սարանական հետազոտությունների մասնագետ, թռիչք է կատարել ամերիկյան «Դիսքավերի» տիեզերանավով:

Տիեզերքի ուսումնասիրման գործում, որին մասնակցել են նաև հայ գիտնականները, մեծ է տարբեր երկրների գիտնականների համագործակցության նշանակությունը:

Հրթիռների միջոցով տիեզերական թռիչքների և երկարատև ճանապարհորդությունների իրականացումը 20-րդ դարում մարդկային քաղաքակրթության մեծագույն նվաճումներից մեկն է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք ռեակտիվ շարժման սահմանումը:*
2. *Ի՞նչ երևույթ է ընկած ռեակտիվ շարժման հիմքում:*
3. *Ինչո՞ւ կրակելիս հրացանն ամուր սեղմում են ուսին:*
4. *Ինչո՞վ է հրթիռը տարբերվում մյուս փոխադրամիջոցներից:*
5. *Մարդը գտնվում է ափից հեռու, սառած լճակի մակերևույթին: Մարդու կոշիկների և սառույցի միջև շփումը բացակայում է: Ինչպե՞ս նա կարող է ափ հասնել:*

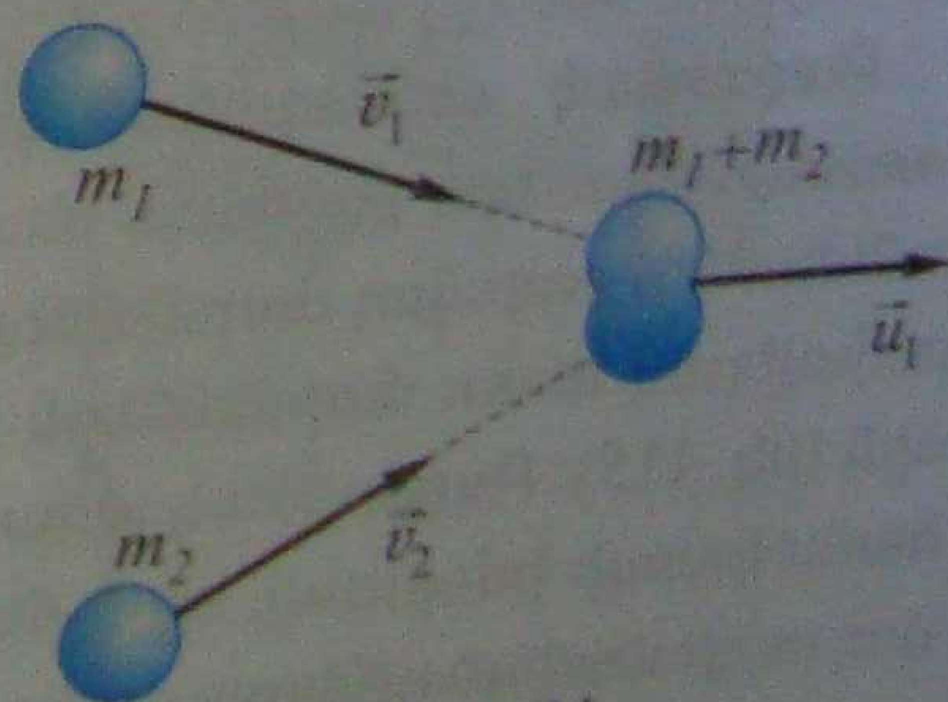
§ 45. Մարմինների բախումները*

Մարմինների բախումը (հարվածը) հաճախ հանդիպող երևույթներից է: Առավել հետաքրքրություն են ներկայացնում *բացարձակ առաձգական* և *բացարձակ ոչ առաձգական* բախումները:

Բացարձակ ոչ առաձգական բախում: Մարմինների բախումը կոչվում է *բացարձակ ոչ առաձգական*, եթե միմյանց հետ բախվելուց հետո մարմինները միանում են (կպչում են) իրար՝ այնուհետև շարժվելով որպես մի ամբողջություն: Օրինակ՝ երկնաքարի բախումը Երկրի հետ, ֆուտբոլի թռչող գնդակի բախումն այն որսացող դարպասապահի հետ, հրացանից արձակված կոտորակի բախումն ավազով լցված արկղի հետ և այլն:

Ստանանք երկու մարմինների բացարձակ ոչ առաձգական բախման հավասարումները: Դիցուք՝ $\vec{v}_1$ արագությամբ շարժվող m_1 զանգվածով գունդը $\vec{v}_2$ արագությամբ շարժվող m_2 զանգվածով գնդի հետ բախվելուց հետո միանում է նրան՝ կազմելով $m_1 + m_2$ զանգվածով նոր մարմին (նկ. 115): Մինչ բախումը համակարգի իմպուլսը՝ $\vec{p} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$, բախումից հետո այն դարձել է՝ $\vec{p}' = (m_1 + m_2)\vec{u}$: Համաձայն իմպուլսի պահպանման օրենքի՝

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}, \qquad (9.13)$$



Նկ. 114

որտեղից՝

$$\vec{u} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} : \qquad (9.14)$$

Մասնավոր դեպքում, երբ մինչև բախումը երկրորդ մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում ($\vec{v}_2 = 0$)`

$$\vec{u} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\vec{v}_1 : \qquad (9.15)$$

Այս բանաձևից ակնհայտ է, որ $u < v_1$: Միաժամանակ հեշտ է նկատել նաև, որ համակարգի կինետիկ էներգիան բախման հետևանքով նվազում է: Իրոք, մինչև բախումը համակարգի $E_կ$ կինետիկ էներգիան հավասար է առաջին մարմնի կինետիկ էներգիային`

$$E_կ = \frac{m_1 v_1^2}{2} : \qquad (9.16)$$

Բախումից հետո համակարգի կինետիկ էներգիան դարձել է`

$$E'_կ = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} : \qquad (9.17)$$

Տեղադրելով (9.17) հավասարման մեջ u-ի արժեքը (9.15) հավասարումից` կստանանք`

$$E'_կ = \frac{m_1^2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot E_կ < E_կ : \qquad (9.18)$$

Ստացված արդյունքը ընդհանուր օրինաչափության մասնավոր դեպք է:

Բացարձակ ոչ առաձգական բախման ժամանակ միշտ տեղի է ունենում կինետիկ էներգիայի կորուստ, որի հետևանքով համակարգի մեխանիկական էներգիան նվազում է: Բնականաբար, «կորսված» մեխանիկական էներգիան չի անհետանում, այլ փոխարկվում է բախվող մարմինների ներքին էներգիայի, ուստի էներգիայի պահպանման օրենքն այդ դեպքում կարտահայտվի հետևյալ տեսքով`

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} + \Delta U \quad , \qquad (9.19)$$

որտեղ ΔU-ն մարմինների ընդհանուր ներքին էներգիայի փոփոխությունն է:

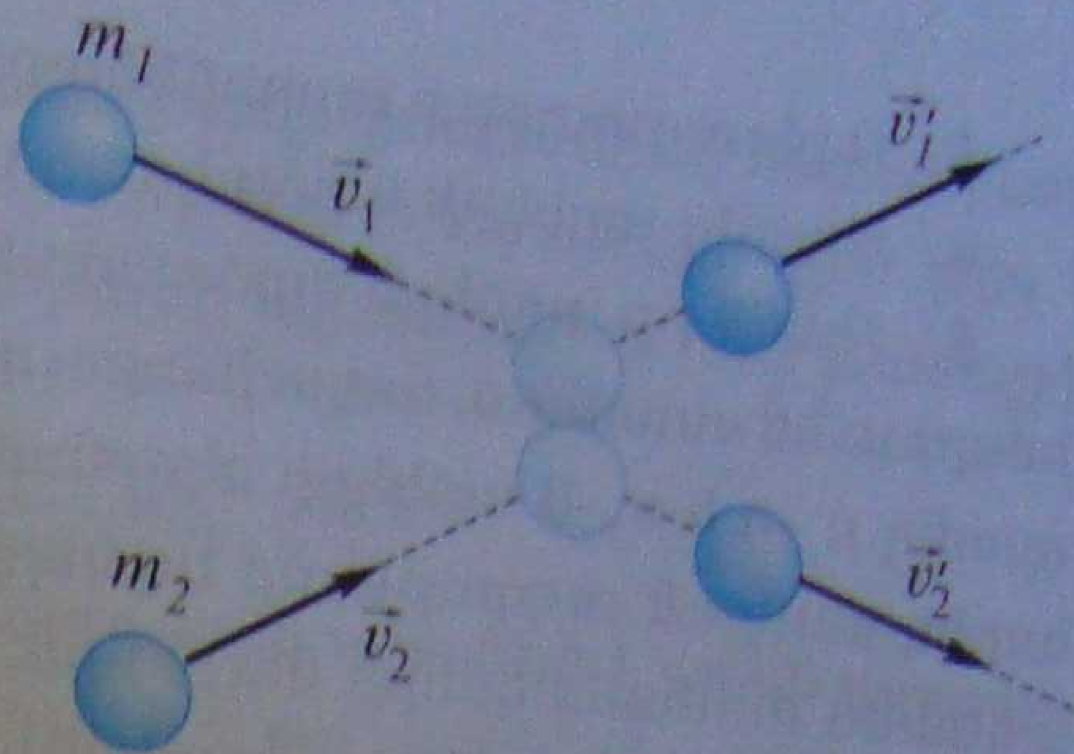
Իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքներն արտահայտող (9.13) և (9.19) հավասարումներն էլ բացարձակ ոչ առաձգական բախման հավասարումներն են:

Բացարձակ առաձգական բախում: Մարմինների բախումը կոչվում է ***բացարձակ առաձգական***, եթե բախման հետևանքով մեխանիկական էներգիայի կորուստ տեղի չի ունենում, և բախվող մարմինների ներքին էներգիան մնում է անփոփոխ: Այս դեպքում բախվելուց հետո մարմիններն իրար չեն միանում, այլ շարժվում են առանձին-առանձին (նկ. 115): Բացարձակ առաձգական բախման ժամանակ պահպանվում է ոչ միայն համակարգի իմպուլսը, այլև մեխանիկական էներգիան: Եթե $\vec{v}_1$ արագությամբ շարժվող m_1 զանգված ունեցող գունդն առաձգականորեն բախվում է $\vec{v}_2$ արագությամբ շարժ-

վող m_2 զանգվածով գնդի հետ, ապա իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքների համաձայն՝

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2', \qquad (9.20)$$

$$\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} = \frac{m_1v_1'^2}{2} + \frac{m_2v_2'^2}{2} : \qquad (9.21)$$



Նկ. 115

Իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքների (9.20) և (9.21) բանաձևերը հնարավորություն են տալիս քննարկելու բացարձակ առաձգական բախումների առավել հետաքրքրություն ներկայացնող տարբեր օրինակներ:

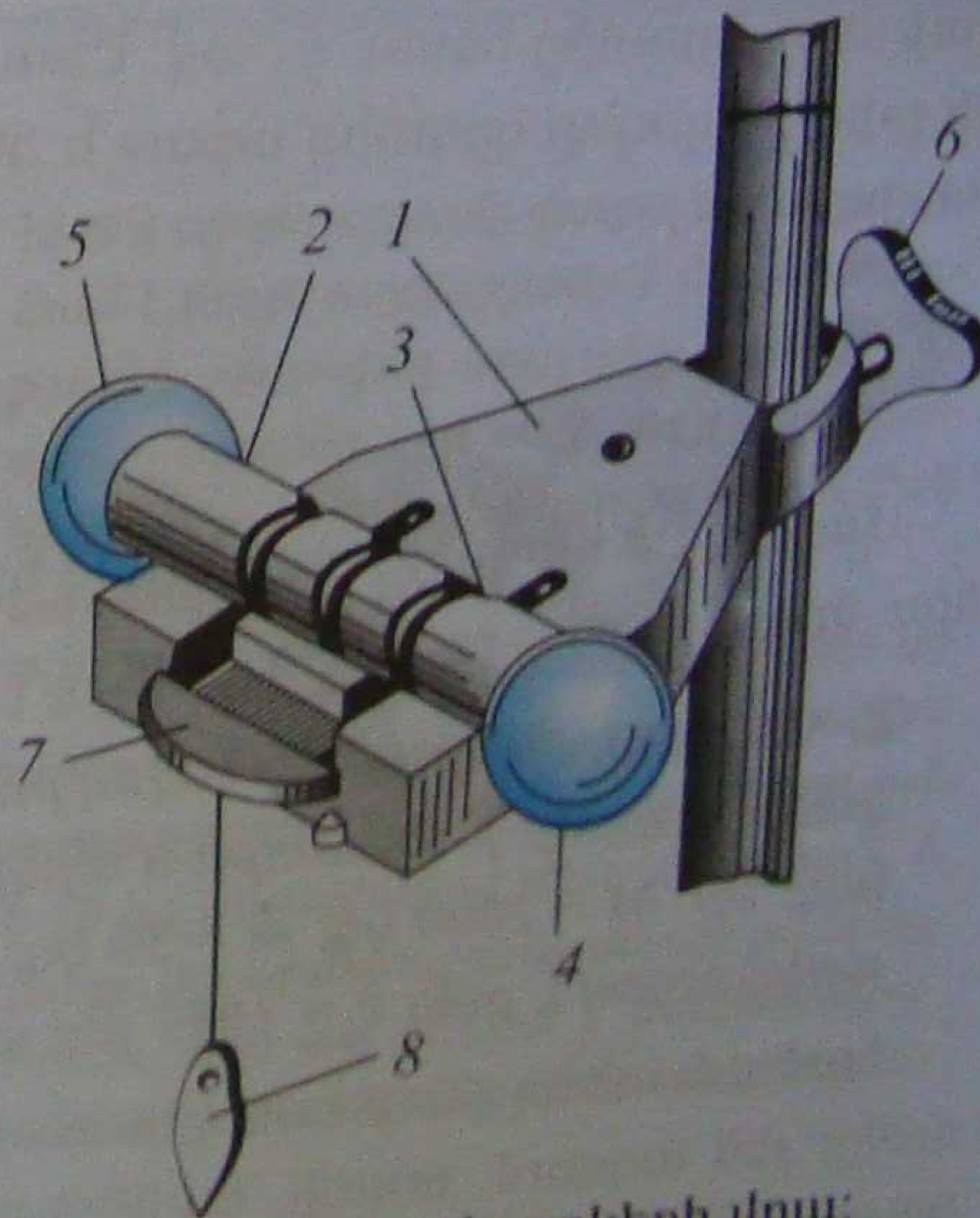
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր բախումներն են կոչվում բացարձակ ոչ առաձգական:*
2. *Ո՞ր բախումներն են կոչվում բացարձակ առաձգական:*
3. *Ո՞ր մեծությունն է, որ պահպանվում է և՛ բացարձակ առաձգական, և՛ բացարձակ ոչ առաձգական բախումների դեպքում:*
4. *Ո՞ր մեծությունն է, որ չի պահպանվում բացարձակ ոչ առաձգական բախման, բայց պահպանվում է բացարձակ առաձգական բախման դեպքում:*

§ 46. Լաբորատոր աշխատանք N 7. Իմպուլսի պահպանման օրենքի ուսումնասիրումը փորձով

Աշխատանքի նպատակը. Փորձով ստուգել իմպուլսի պահպանման օրենքը:

Չափամիջոցներ. 1. քանոն, 2. ուսումնական կշեռք, 3. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):



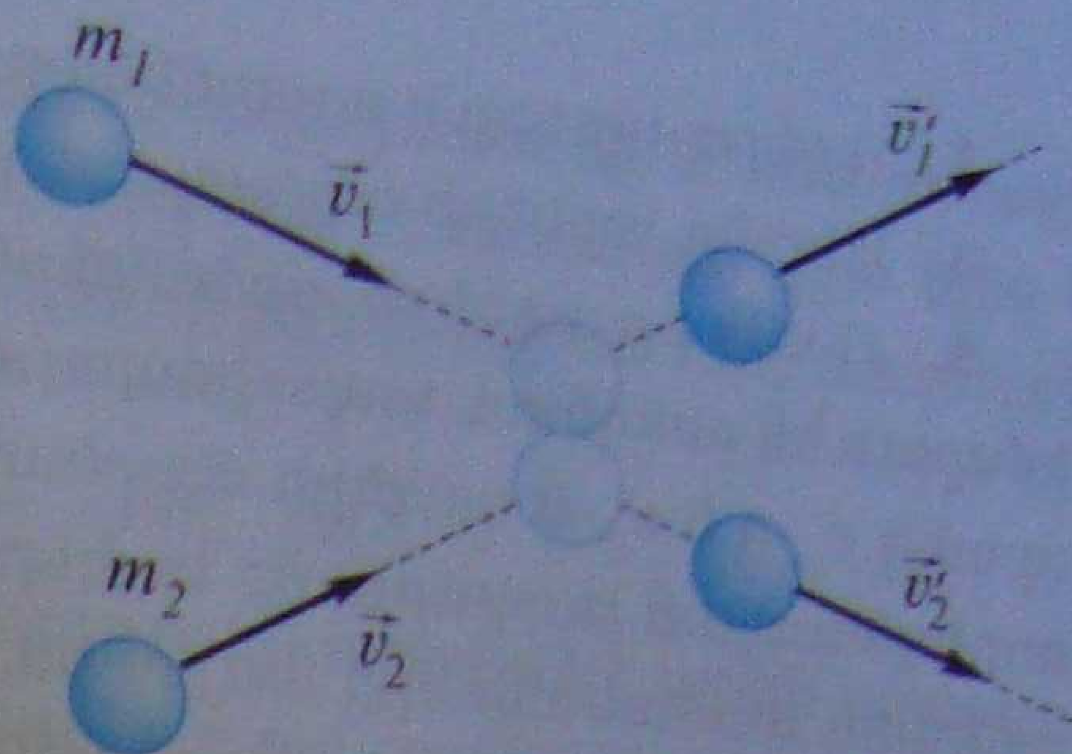
Նյութեր և սարքեր. 1. իմպուլսի պահպանման օրենքի ուսումնասիրման սարք (սարքի պատյան՝ փոսով, ամրակալանին ամրացվող հարմարանքով, ստեղնով և հարթաչափով, երկու արկ, զսպանակ, արկին ամրացվող 2 հավասար և 1 այլ զանգված ունեցող գնդիկներ), 2. գրելու թուղթ, 3. պատճենաթուղթ, 4. ամրակալան՝ կցորդիչով:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Իմպուլսի պահպանման օրենքի ուսումնասիրման սարքն ամրակալանի հարթաչափի միջոցով տեղավորել հորիզոնական դիրքով (սեղանի մակերևույթից 20÷30 սմ բարձրության վրա):

2. Վերցնել հավասար զանգվածներով՝ սարքի կազմի մեջ մտնող 2 գնդիկները, կշռել դրանք և ամրացնել սարքի արկերի վրա:

վող m_2 զանգվածով գնդի հետ, ապա իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքների համաձայն՝



Նկ. 115

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2', \qquad (9.20)$$

$$\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} = \frac{m_1v_1'^2}{2} + \frac{m_2v_2'^2}{2}: \qquad (9.21)$$

Իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքների (9.20) և (9.21) բանաձևերը հնարավորություն են տալիս քննարկելու բացարձակ առաձգական բախումների առավել հետաքրքրություն ներկայացնող տարբեր օրինակներ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

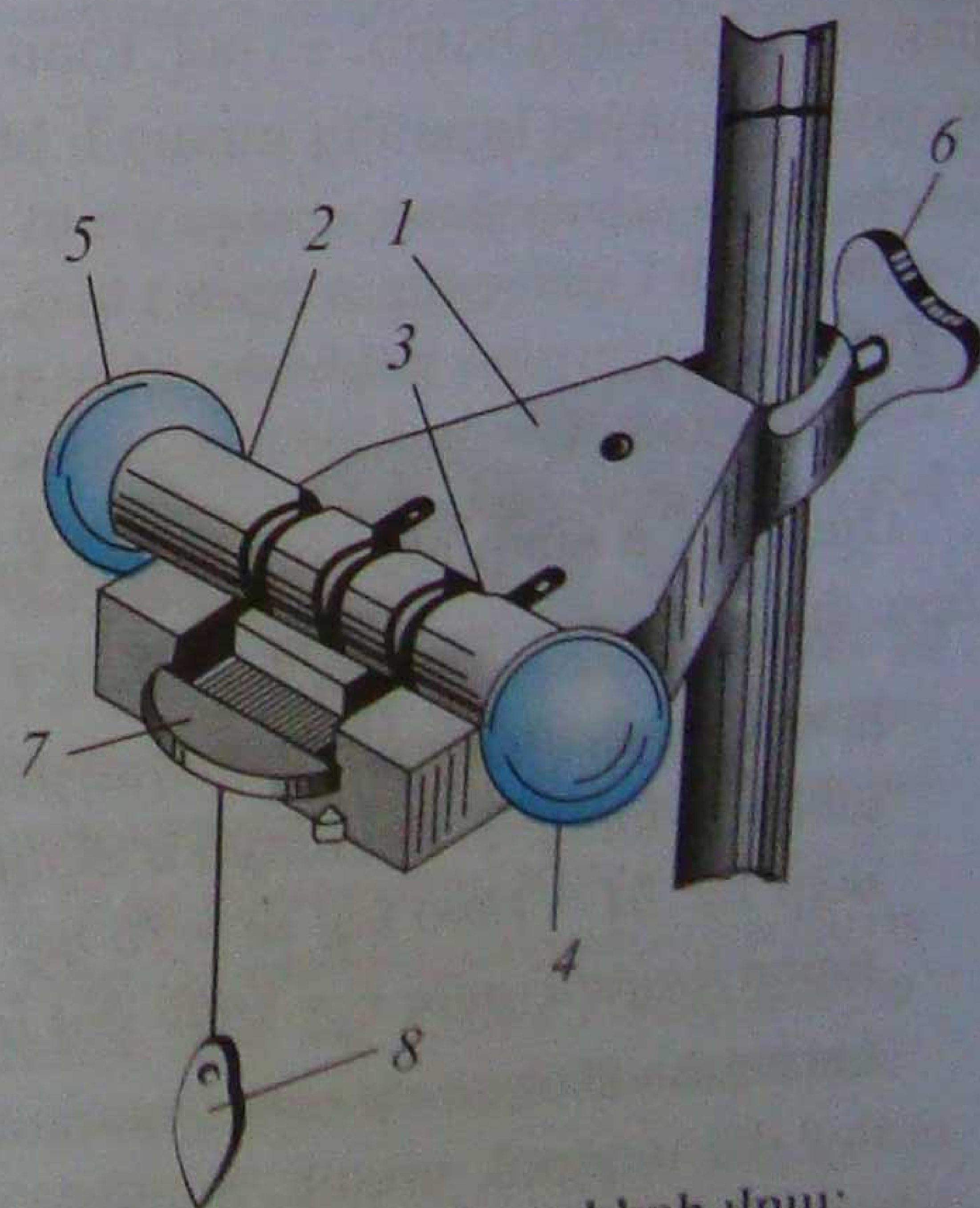
1. *Ո՞ր բախումներն են կոչվում բացարձակ ոչ առաձգական:*
2. *Ո՞ր բախումներն են կոչվում բացարձակ առաձգական:*
3. *Ո՞ր մեծությունն է, որ պահպանվում է և՛ բացարձակ առաձգական, և՛ բացարձակ ոչ առաձգական բախումների դեպքում:*
4. *Ո՞ր մեծությունն է, որ չի պահպանվում բացարձակ ոչ առաձգական բախման, բայց պահպանվում է բացարձակ առաձգական բախման դեպքում:*

§ 46. Լաբորատոր աշխատանք N 7. Իմպուլսի պահպանման օրենքի ուսումնասիրումը փորձով

Աշխատանքի նպատակը. Փորձով ստուգել իմպուլսի պահպանման օրենքը:

Չափամիջոցներ. 1. քանոն, 2. ուսումնական կշեռք, 3. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. իմպուլսի պահպանման օրենքի ուսումնասիրման սարք (սարքի պատյան՝ փոսով, ամրակալանին ամրացվող հարմարանքով, ստեղնով և հարթաչափով, երկու արկ, զսպանակ, արկին ամրացվող 2 հավասար և 1 այլ զանգված ունեցող գնդիկներ), 2. գրելու թուղթ, 3. պատճենաթուղթ, 4. ամրակալան՝ կցորդիչով:



Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Իմպուլսի պահպանման օրենքի ուսումնասիրման սարքն ամրակալանի հարթաչափի միջոցով տեղավորել հորիզոնական դիրքով (սեղանի մակերևույթից 20÷30 սմ բարձրության վրա):

2. Վերցնել հավասար զանգվածներով՝ սարքի կազմի մեջ մտնող 2 գնդիկները, կշռել դրանք և ամրացնել սարքի արկերի վրա:

3. Գրելու թուղթը և պատճենաթուղթը դնել սեղանին` սարքի երկու կողմերում:

4. Սեղմել արկերի արձակման ստեղնը և նշել գնդիկների անկման տեղերը:

5. Քանի որ արկերի արձակման ժամանակ երկուսն էլ հորիզոնական ուղղությամբ իմպուլս են ստանում, ապա իմպուլսի պահպանման օրենքից կարելի է գրել` $m_1v_1 = m_2v_2$, որտեղ v_1-ը և v_2-ն արկերի սկզբնական արագություններն են: Մյուս կողմից, քանի որ հորիզոնական ուղղությամբ արկերի շարժումը հավասարաչափ է, բացի այդ, նրանց անկման ժամանակները նույնն են, ապա արկերի թռիչքների հեռահարությունները ռոչվում են $s_1 = v_1t$, $s_2 = v_2t$ բանաձևերով:

6. Այսպիսով` իմպուլսի պահպանման օրենքը համարժեք է հետևյալ առնչությանը`

$$m_1s_1 = m_2s_2 :$$

7. Փորձը կրկնել 3 անգամ` ամեն անգամ աղյուսակում նշելով s_1 և s_2 արժեքները ու հաշվելով արտադրյալները:

s_1	s_2	m_1s_1	m_2s_2

8. Հաշվել m_1s_1 և m_2s_2 արժեքների թվաբանական միջինը և համոզվել իմպուլսի պահպանման օրենքի ճշմարտացիության մեջ:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***30000 կգ զանգվածով երկաթուղային վագոնը, որը շարժվում է 1,5 մ/վ արագությամբ, կցվում է 20000 կգ զանգված ունեցող մի անշարժ վագոնի: Ի՞նչ արագություն կունենան վագոնները կցվելուց հետո:***

Լուծում: Առաջին վագոնի զանգվածը նշանակենք m_1-ով, արագությունը մինչև կցումը` $\vec{v}_1$-ով, երկրորդ վագոնի զանգվածը` m_2-ով, իսկ երկու վագոնների ընդհանուր արագությունը կցումից հետո` $\vec{v}_2$-ով: Ըստ իմպուլսի պահպանման օրենքի` երկու վագոնների լրիվ իմպուլսը կցումից առաջ և հետո պետք է լինի նույնը` $m_1\vec{v}_1 = (m_1 + m_2)\vec{v}_2$, որտեղից`

$$\vec{v}_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\vec{v}_1 :$$

Ստացված հավասարությունից երևում է, որ $\vec{v}_2$-ն ուղղված է $\vec{v}_1$-ի ուղղությամբ, իսկ նրա մոդուլը` $v_2 = m_1v_1/(m_1 + m_2) = 0,9$ մ/վ :

2. ***Դաշտի միճակում գտնվող թնդանոթից կրակել են հորիզոնի նկատմամբ $\alpha = 60°$ անկյան տակ: Թնդանոթի և արկի զանգվածները համապատասխանաբար հավասար են` M = 1000 կգ, m = 30 կգ: Ի՞նչ արագություն է ձեռք բերել թնդանոթը, եթե արկը դուրս է թռել v_0= 1000 մ/վ արագությամբ:***

Լուծում: «Թնդանոթ-արկ» համակարգի վրա հորիզոնական ուղղությամբ արտաքին ուժեր չեն ազդում, ուստի, համաձայն իմպուլսի պահպանման օրենքի, համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան այդ ուղղության վրա պահպանվում է: Մինչև կրակելը թնդանոթը

2. Դնել ... սեղանին՝ սարքի երկու կողմերում:

3. Գրելու թուղթը և պատճենաթուղթը դնել սեղանին՝ սարքի երկու կողմերում:

4. Սեղմել արկերի արձակման ստեղնը և նշել գնդիկների անկման տեղերը:

4. Սեղմել արկերի արձակման ժամանակ երկուսն էլ հորիզոնական ուղղությամբ

5. Քանի որ արկերի արձակման ժամանակ իմպուլսի պահպանման օրենքից կարելի է գրել՝ $m_1v_1 = m_2v_2$, իմպուլս են ստանում, ապա իմպուլսի պահպանման օրենքից սկզբնական արագություններն են: Մյուս կողմից, քանի որ որտեղ v_1-ը և v_2-ն արկերի սկզբնական արագություններն են: Մյուս կողմից, քանի որ հորիզոնական ուղղությամբ արկերի շարժումը հավասարաչափ է, բացի այդ, նրանց անկման ժամանակները նույնն են, ապա արկերի թռիչքների հեռահարությունները որոշվում են $s_1 = v_1t$, $s_2 = v_2t$ բանաձևերով:

6. Այսպիսով՝ իմպուլսի պահպանման օրենքը համարժեք է հետևյալ առնչությանը՝

$$m_1s_1 = m_2s_2 :$$

7. Փորձը կրկնել 3 անգամ՝ ամեն անգամ աղյուսակում նշելով s_1 և s_2 արժեքներն ու հաշվելով արտադրյալները:

s_1	s_2	m_1s_1	m_2s_2

8. Հաշվել m_1s_1 և m_2s_2 արժեքների թվաբանական միջինը և համոզվել իմպուլսի պահպանման օրենքի ճշմարտացիության մեջ:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***30000 կգ զանգվածով երկաթուղային վագոնը, որը շարժվում է 1,5 մ/վ արագությամբ, կցվում է 20000 կգ զանգված ունեցող մի անշարժ վագոնի: Ի՞նչ արագություն կունենան վագոնները կցվելուց հետո:***

Լուծում: Առաջին վագոնի զանգվածը նշանակենք m_1-ով, արագությունը մինչև կցումը՝ $\vec{v}_1$-ով, երկրորդ վագոնի զանգվածը՝ m_2-ով, իսկ երկու վագոնների ընդհանուր արագությունը կցումից հետո՝ $\vec{v}_2$-ով: Ըստ իմպուլսի պահպանման օրենքի՝ երկու վագոնների լրիվ իմպուլսը կցումից առաջ և հետո պետք է լինի նույնը՝ $m_1\vec{v}_1 = (m_1 + m_2)\vec{v}_2$, որտեղից՝

$$\vec{v}_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\vec{v}_1 :$$

Ստացված հավասարությունից երևում է, որ $\vec{v}_2$-ն ուղղված է $\vec{v}_1$-ի ուղղությամբ, իսկ նրա մոդուլը՝ $v_2 = m_1v_1/(m_1 + m_2) = 0,9$ մ/վ :

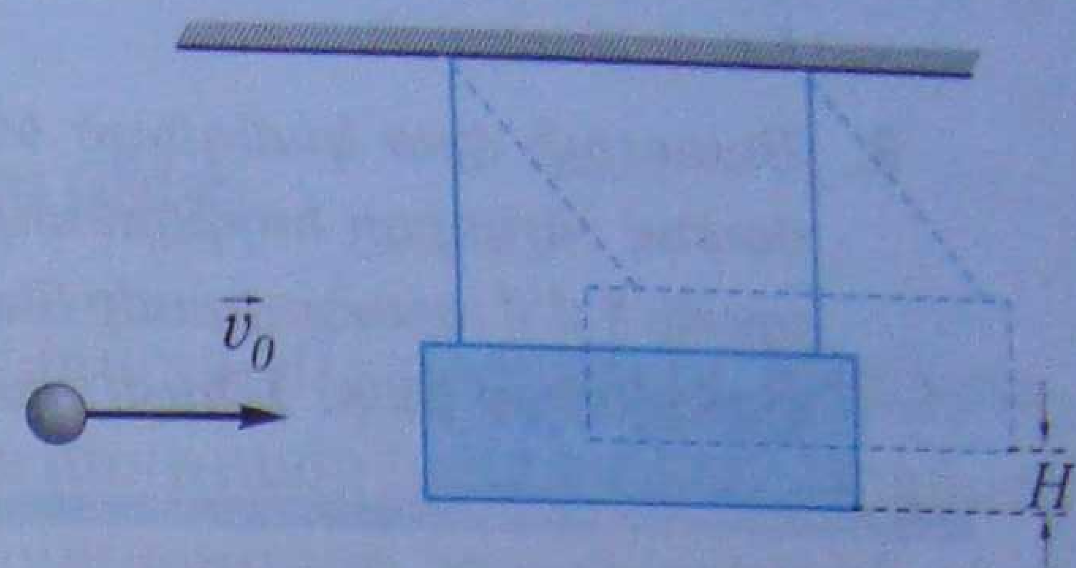
2. ***Դադարի վիճակում գտնվող թնդանոթից կրակել են հորիզոնի նկատմամբ $\alpha = 60°$ անկյան տակ: Թնդանոթի և արկի զանգվածները համապատասխանաբար հավասար են՝ M = 1000 կգ, m = 30 կգ: Ի՞նչ արագություն է ձեռք բերել թնդանոթը, եթե արկը դուրս է թռել v_0= 1000 մ/վ արագությամբ:***

Լուծում: «Թնդանոթ-արկ» համակարգի վրա հորիզոնական ուղղությամբ արտաքին ուժեր չեն ազդում, ուստի, համաձայն իմպուլսի պահպանման օրենքի, համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան այդ ուղղության վրա պահպանվում է: Մինչև կրակելը թնդանոթը

և արկը գտնվել են դադարի վիճակում, ուստի համակարգի իմպուլսը և, հետևաբար, նաև նրա պրոյեկցիան հորիզոնական ուղղությամբ ուղղված X առանցքի վրա եղել է զրո: Ուրեմն, կրակոցից հետո էլ համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան այդ առանցքի վրա պետք է հավասար լինի զրոյի, այսինքն՝

$$Mv_x + mv_{0x} = 0 \quad \text{կամ} \quad v_x = -mv_{0x}/M :$$

«–» նշանը ցույց է տալիս, որ թնդանոթի արագությունն ուղղված է արկի արագության v_{0x} պրոյեկցիային հակառակ, իսկ նրա մոդուլը՝ $v = mv_0 cos60°/M = 15$ մ/վ :



3. ***Հրազենից արձակվող գնդակի սկզբնական արագությունը փորձով որոշելու համար սովորաբար կրակում են ուղղաձիգ թելերից կախված փայտե չորսուի վրա: Դրա հետևանքով չորսուն, նրա մեջ մխրճված գնդակի հետ միասին, բարձրանում է մի որոշ H բարձրությամբ: Չափելով H-ը՝ որոշում են գնդակի սկզբնական արագությունը: Այդպիսի մի փորձի ժամանակ 6 կգ զանգված ունեցող չորսուն բարձրանում է 5 սմ-ով: Ինչի՞ է հավասար գնդակի սկզբնական արագությունն այդ փորձի տվյալներով, եթե գնդակի զանգվածը 10 գ է:***

Լուծում: «Գնդակ-չորսու» համակարգի վրա գնդակի և չորսուի բախման պահին հորիզոնական ուղղությամբ արտաքին ուժեր չեն ազդում, ուստի համակարգի իմպուլսը գնդակի շարժման ուղղությամբ պահպանվում է՝ $mv_0 = (M + m)v$, որտեղ v-ն համակարգի արագությունն է բախումից անմիջապես հետո: Այն կարելի է որոշել՝ օգտվելով էներգիայի պահպանման օրենքից՝

$$(m + M)v^2/2 = (m + M)gH , \quad \text{որտեղից՝} \quad v = \sqrt{2gH} :$$

Հետևաբար՝ $v_0 = (1 + M/m)\sqrt{2gH} \approx 577$ մ/վ :

Խնդիրներ

1. ***2000 տ զանգվածով գնացքը, շարժվելով ուղղագիծ, արագությունը մեծացրեց 36-ից մինչև 72 կմ/ժ: Գտնել գնացքի իմպուլսի փոփոխությունը:***
2. ***Մարմնի վրա 10 վ-ի ընթացքում ազդում է 5 Ն ուժ: Գտնել մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը:***
3. ***72 կմ/ժ արագությամբ ընթացող ավտոմեքենան բախվում է ծառին և կանգ առնում 0,04 վ հետո: Անվտանգության ամրագոտիները դիմանում են 50000 Ն բեռնվածության: Չե՞ն կտրվի արդյոք ամրագոտիները, եթե վարորդի զանգվածը 80 կգ է:***
4. ***10 մ/վ արագությամբ վազող տղան ցատկում է նույն ուղղությամբ 1 մ/վ արագությամբ շարժվող սայլակի վրա: Ի՞նչ արագությամբ կշարժվի սայլակը դրանից հետո: Տղայի զանգվածը 60 կգ է, իսկ սայլակինը՝ 40 կգ:***
5. ***1 մ/վ արագությամբ շարժվող և 200 կգ զանգվածով մակույկից հորիզոնական ուղղությամբ 7 մ/վ արագությամբ թռչում է 50 կգ զանգվածով տղան: Ինչպե՞ս է մակույկի արագությունը տղայի թռչելուց հետո, եթե նա թռչում է նավախելից՝ մակույկի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ:***

6. 2 կգ զանգվածով մարմինն ազատ ընկնում է 20 մ բարձրությունից: Գտնել մարմնի իմպուլսի փոփոխությունն անկման ընթացքում:

7. Լճի մակերևույթին գտնվող լաստի զանգվածը 300 կգ է: Ինչքանո՞վ կտեղաշարժվի լաստը, եթե նրա վրա գտնվող մարդը, որի զանգվածը 60 կգ է, լաստի վրայով անցնի 5 մ ճանապարհ:

8. Սառույցի վրա կանգնած 60 կգ զանգվածով չմշկորդը հորիզոնական ուղղությամբ 8 մ/վ արագությամբ նետում է 3 կգ զանգվածով քար: Մինչև կանգ առնելը ինչքա՞ն ճանապարհ կանցնի չմշկորդը սառույցի վրայով, եթե չմուշկների՝ սառույցի հետ շփման գործակիցը 0,02 է:

9. M և 2M զանգվածներով երկու գնդեր կախված են միևնույն կետից l երկարությամբ թելերով: M զանգվածով գունդը շեղում են α անկյան տակ և բաց թողնում՝ հաղորդելով դեպի հավասարակշռության դիրքը շոշափողով ուղղված v_0 արագություն: Ի՞նչ H բարձրության կհասնեն գնդերը բացարձակ ոչ առաձգական հարվածից հետո:

ԳԼՈՒԽ 9-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ուժի ազդեցության ժամանակային բնութագիրն ուժի և նրա ազդման տևողության

   $F\Delta t$ արտադրյալն է՝ ուժի իմպուլսը:

2. Շարժվող մարմնի կարևորագույն բնութագիրը նրա իմպուլսն է, որը վեկտորական մեծություն է և հավասար է մարմնի զանգվածի ու արագության արտադրյալին:

3. Մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող ուժի իմպուլսին:

4. Մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի իմպուլս կոչվում է այդ համակարգը կազմող մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը:

5. Համակարգի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող արտաքին ուժերի գումարի իմպուլսին:

6. Փակ համակարգ կազմող մարմինների ընդհանուր իմպուլսն այդ համակարգի մարմինների ցանկացած փոխազդեցությունների և ցանկացած շարժումների դեպքում պահպանվում է:

7. Եթե համակարգի վրա ազդող արտաքին ուժերի պրոյեկցիաների հանրահաշվական գումարը որևէ ուղղության վրա հավասար է զրոյի, ապա այդ ուղղության վրա համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան պահպանվում է:

6. *2 կգ զանգվածով մարմինն ազատ ընկնում է 20 մ բարձրությունից: Գտնել մարմնի իմպուլսի փոփոխությունն անկման ընթացքում:*

7. *Լճի մակերևույթին գտնվող լաստի զանգվածը 300 կգ է: Ինչքանո՞վ կտեղաշարժվի լաստը, եթե նրա վրա գտնվող մարդը, որի զանգվածը 60 կգ է, լաստի վրայով անցնի 5 մ ճանապարհ:*

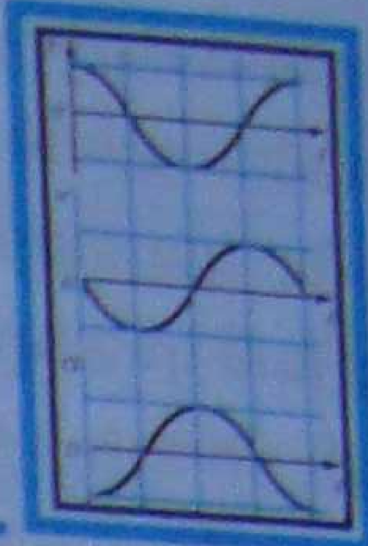
8. *Սառույցի վրա կանգնած 60 կգ զանգվածով չմշկորդը հորիզոնական ուղղությամբ 8 մ/վ արագությամբ նետում է 3 կգ զանգվածով քար: Մինչև կանգ առնելը ինչքա՞ն ճանապարհ կանցնի չմշկորդը սառույցի վրայով, եթե չմուշկների՝ սառույցի հետ շփման գործակիցը 0,02 է:*

9. ***M** և **2M** զանգվածներով երկու գնդեր կախված են միևնույն կետից **l** երկարությամբ թելերով: **M** զանգվածով գունդը շեղում են α անկյան տակ և բաց թողնում՝ հաղորդելով դեպի հավասարակշռության դիրքը շոշափողով ուղղված v_0 արագություն: Ի՞նչ **H** բարձրության կհասնեն գնդերը բացարձակ ոչ առաձգական հարվածից հետո:*

ԳԼՈՒԽ 9-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ուժի ազդեցության ժամանակային բնութագիրն ուժի և նրա ազդման տևողության $\vec{F}\Delta t$ արտադրյալն է՝ ուժի իմպուլսը:
2. Շարժվող մարմնի կարևորագույն բնութագիրը նրա իմպուլսն է, որը վեկտորական մեծություն է և հավասար է մարմնի զանգվածի ու արագության արտադրյալին:
3. Մարմնի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող ուժի իմպուլսին:
4. Մի քանի մարմիններից կազմված համակարգի իմպուլս կոչվում է այդ համակարգը կազմող մարմինների իմպուլսների երկրաչափական գումարը:
5. Համակարգի իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է նրա վրա ազդող արտաքին ուժերի գումարի իմպուլսին:
6. Փակ համակարգ կազմող մարմինների ընդհանուր իմպուլսն այդ համակարգի մարմինների ցանկացած փոխազդեցությունների և ցանկացած շարժումների դեպքում պահպանվում է:
7. Եթե համակարգի վրա ազդող արտաքին ուժերի պրոյեկցիաների հանրահաշվական գումարը որևէ ուղղության վրա հավասար է զրոյի, ապա այդ ուղղության վրա համակարգի իմպուլսի պրոյեկցիան պահպանվում է:

10 ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐ

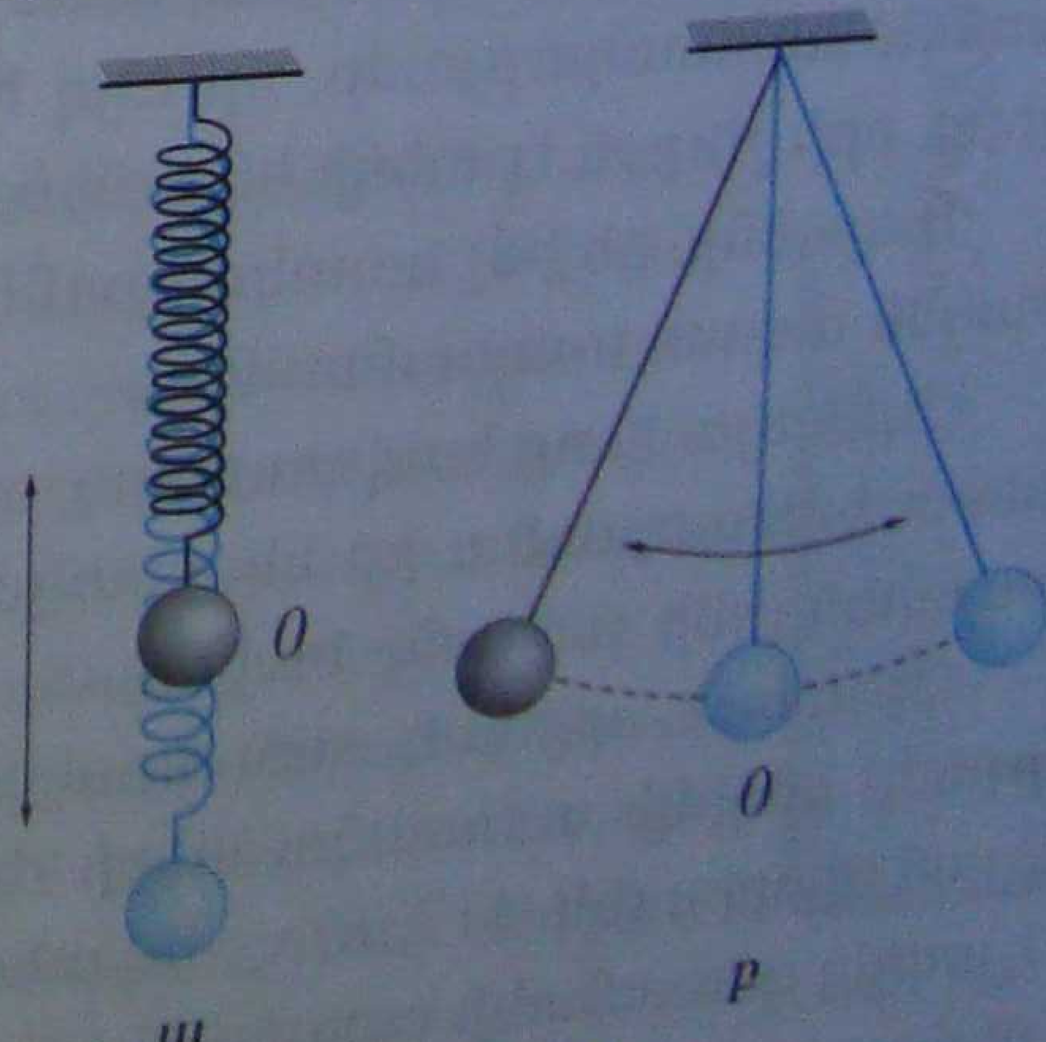


§ 47. Տատանողական շարժում: Ազատ և հարկադրական տատանումներ

Բնության մեջ և տեխնիկայում շատ հաճախ հանդիպում են շարժումներ, որոնք ժամանակի ընթացքում նույնությամբ կամ համարյա նույնությամբ կրկնվում են: Կրկնվող շարժումներից մենք ուսումնասիրել ենք միայն հավասարաչափ շրջանագծային շարժումը: Այդ շարժումը պարբերական շարժում է: Դա նշանակում է, որ որոշակի ժամանակամիջոցներից հետո մարմնի շարժումը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունների (կոորդինատ, արագություն, արագացում և այլն) արժեքները կրկնվում են: Հավասարաչափ շրջանագծային շարժումը միայն մի ուղղությամբ ընթացող շարժում է: Սակայն հաճախ հանդիպում են կրկնվող շարժումներ, որոնք հերթականությամբ տեղի են ունենում երկու՝ միմյանց հակառակ ուղղություններով: Օրինակ, եթե զսպանակից կախված գնդիկը, թեթևակի ներքև քաշելով, հանենք հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնենք (նկ. 116,ա), ապա այն կսկսի կատարել բավականին հետաքրքիր շարժում՝ վերև-ներքև, վերև-ներքև և այլն: Այդ կարգի շարժումներն էլ, որոնց դեպքում մարմինը հերթականությամբ տեղաշարժվում է մերթ այս, մերթ այն կողմ, կոչվում են տատանողական շարժումներ կամ մեխանիկական տատանումներ:

Այն շարժումները, որոնք ժամանակի ընթացքում նույնությամբ կամ համարյա նույնությամբ կրկնվում են և հերթականորեն տեղի են ունենում հակառակ ուղղություններով, կոչվում են տատանողական շարժումներ կամ մեխանիկական տատանումներ:

Տատանողական շարժում են կատարում, օրինակ՝ ծառի ճյուղերը քամու ժամանակ, ժամացույցի ճոճանակը, կարի մեքենայի ասեղը, ջութակի լարը, աղոր, երբ նրանով հյուսնը փայտ է կտրում, թելից կամ զսպանակից կախված մարմինները (նկ. 116) և այլն: Տատանողական շարժման ամենաբնորոշ հատկանիշն այն է, որ տատանումների ժամանակ մարմնի շարժումները նույնությամբ կամ մոտավորապես կրկնվում են: Այսպես, եթե թելից կախված գնդիկը շեղենք հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնենք, ապա այն կսկսի ճոճվել աջ-ձախ, աջ-ձախ (նկ. 116,բ) և այսպես շարունակ (այնքան ժամանակ, քանի դեռ տատանումները չեն մարել): Կատարելով մեկ տատանում, այսինքն՝ անցնելով ձախ եզրային դիրքից մինչև աջ եզրային դիրքը և հակառակը՝ նորից կատարում է այդ նույն շարժումը: Թելից կախված գնդիկը պարզագույն



Նկ. 116

ճոճանակ է: Մասնավորապես, ճոճանակ են անվանում թելից կախված կամ առանցքին ամրացված այն մարմինը, որը ծանրության ուժի ազդեցությամբ կարող է տատանում-ներ կատարել: Դա հնարավոր է, եթե պտտման առանցքը չի անցնում մարմնի ծանրության կենտրոնով: Ճոճանակ կարելի է անվանել մեխից կախված քանոնը, ջահը, կշեռքի լծակը և այլն:

Եթե տատանվող մարմնի շարժումը կրկնվում է նույնությամբ, ապա տատանումներն անվանում են *պարբերական*: ***Այն փոքրագույն T ժամանակամիջոցը, որից հետո տատանվող մարմնի շարժումը նույնությամբ կրկնվում է, կոչվում է տատանումների պարբերություն***: Եթե t ժամանակում մարմինը կատարում է N տատանում, ապա նրա տատանումների պարբերությունը հավասար կլինի՝

$$T = \frac{t}{N}: \qquad (10.1)$$

1 վ-ում մարմնի կատարած տատանումների թիվն անվանում են ***հաճախություն*** և սովորաբար նշանակում են ν տառով՝

$$\nu = \frac{N}{t}: \qquad (10.2)$$

Տատանումների պարբերությանը և հաճախությունը, համաձայն (10.1) և (10.2) արտահայտությունների, կապված են հետևյալ կերպ՝

$$\boxed{\nu = \frac{1}{T}}: \qquad (10.3)$$

ՄՀ-ում տատանումների հաճախությունը հավասար է միավորի, եթե մեկ վայրկյանում կատարվում է մեկ տատանում: Այդ միավորն անվանում են հերց (կրճատ՝ Հց). $[\nu] = 1\ վ^{-1} = 1\ Հց$:

Ազատ տատանումներ: Եթե զսպանակին ամրացված բեռը շեղենք հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնենք (նկ. 116,*ա*), ապա այն կկատարի տատանումներ զսպանակում ծագող առաձգականության ուժերի ազդեցությամբ: ***Այն տատանումները, որոնք առաջանում են համակարգում ներքին ուժերի ազդեցությամբ այն բանից հետո, երբ համակարգը հանվում է հավասարակշռության դիրքից, կոչվում են ազատ տատանումներ:***

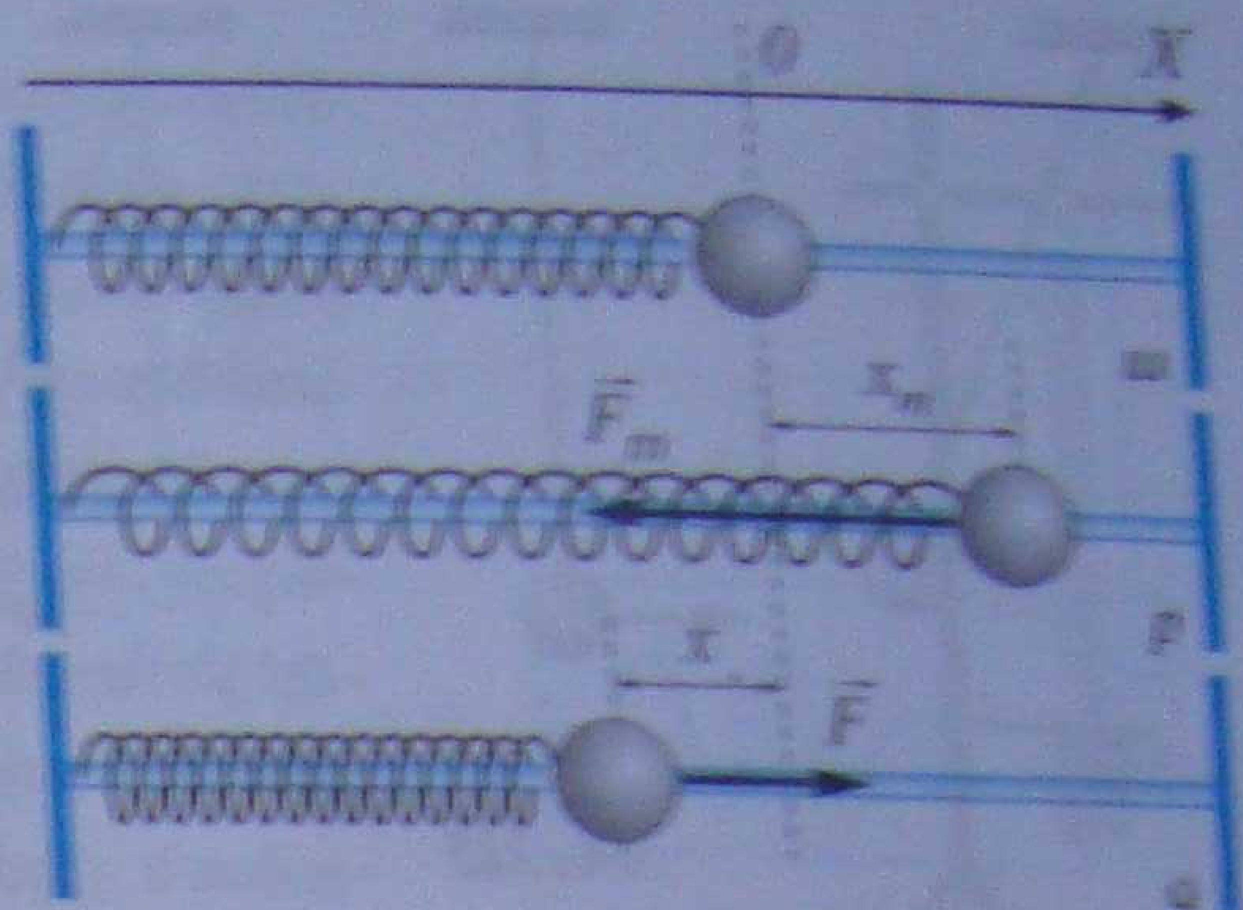
Համակարգերը, որոնցում առաջանում են ազատ տատանումներ, օժտված են այն առանձնահատկությամբ, որ այդ համակարգերում կա կայուն հավասարակշռության դիրք, որի շուրջն էլ տեղի են ունենում ազատ տատանումները:

Պարզենք, թե ինչ հատկություններ պետք է ունենա համակարգը, որպեսզի նրանում ծագեն ազատ տատանումներ:

Ակնհայտ է, որ հավասարակշռության դիրքից հանված մարմինը ազատ թողնելուց հետո կվերադառնա իր սկզբնական դիրքը, եթե նրա վրա ազդող ուժերի համազորն ուղղված լինի շեղմանը հակառակ, այսինքն՝ դեպի հավասարակշռության դիրքը:

Այդպես է, օրինակ, առաձգականության ուժի ազդեցությամբ հորիզոնական ուղղությամբ գնդիկի տատանումների ժամանակ (նկ. 117): Երբ գնդիկը հավասարակշռության դիրքից (նկ. 117,*ա*) x_m-ով տեղաշարժվում է դեպի աջ (նկ. 117,*բ*), նրա վրա սկսում է ազդել զսպանակի առաձգականության ուժը: Հուկի օրենքի համաձայն՝ այդ ուժը համեմատական է զսպանակի երկարացմանը և ուղղված է դեպի ձախ: Հետևաբար, ա-

ազատ թողնելուց հետո գնդիկը շարժվում է դեպի հավասարակշռության դիրքը՝ աստիճանաբար մեծացնելով արագությունը: Երբ գնդիկը հասնում է հավասարակշռության դիրքին, առաձգականության ուժը դառնում է զրո, իսկ արագությունը հասնում է իր առավելագույն արժեքին: Իներցիայի շնորհիվ գնդիկը շարունակում է շարժվել դեպի ձախ, և զսպանակը սեղմվում է: Արդյունքում ի հայտ է գալիս արդեն դեպի աջ ուղղված և գնդիկի շարժումն արգելակող ուժ (նկ. 117,գ): Գնդիկի արագությունը փոքրանում է այնքան ժամանակ, մինչև ձախ սահմանային դիրքում դառնում է զրո, և գնդիկը մի պահ «կանգ է առնում»: Այնուհետև այն սկսում է արագացմամբ շարժվել դեպի հավասարակշռության դիրքը: Հավասարակշռության դիրքում առաձգականության ուժը նորից դառնում է զրո, բայց գնդիկը մինչև այդ պահն արդեն հասցնում է արագություն ձեռք բերել և, հետևաբար, շարունակում է շարժվել դեպի աջ: Ուստի զսպանակը սկսում է ձգվել, և դեպի ձախ ուղղված ուժ է առաջանում: Գնդիկի շարժումն արգելակվում է մինչև աջ սահմանային դիրքում «կանգ առնելը», որից հետո նույնությամբ կրկնվում է:



Նկ. 117

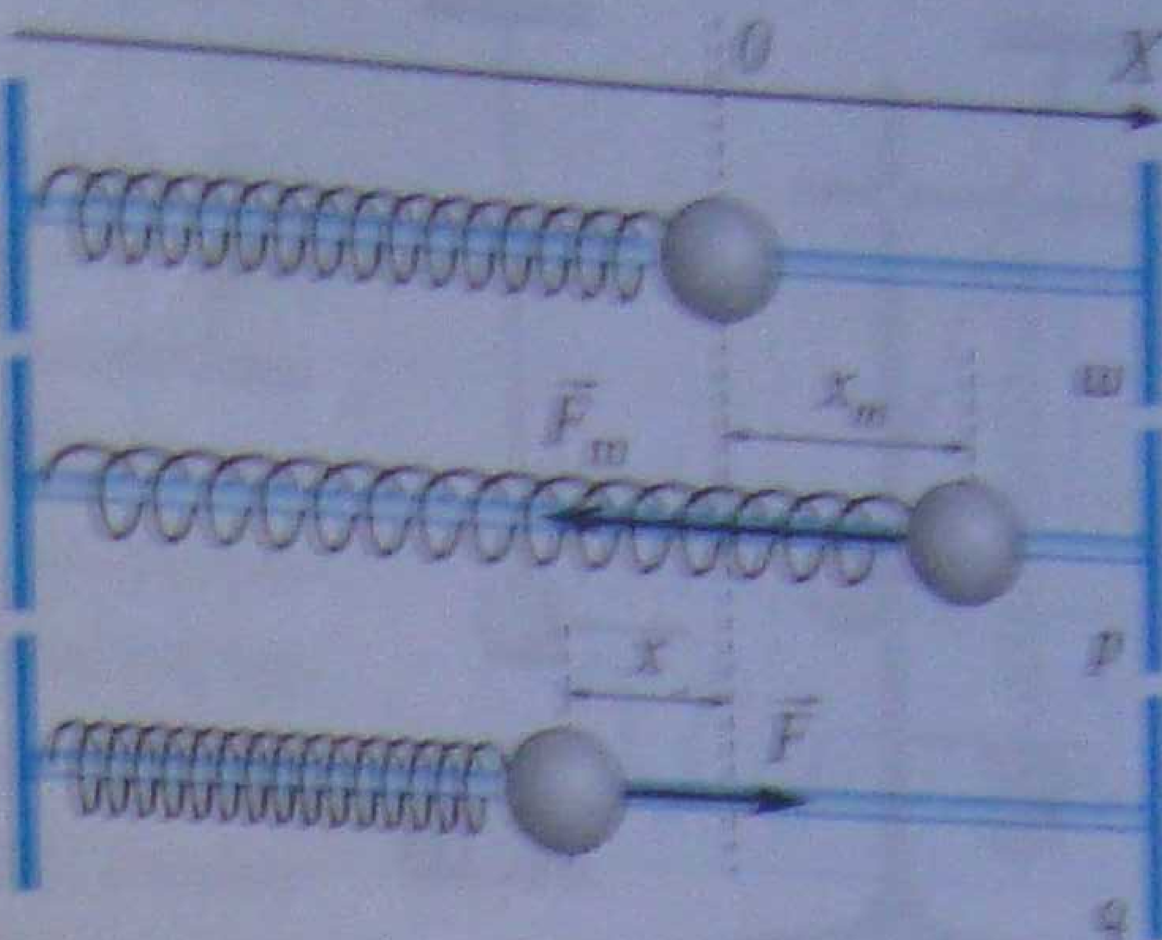
Եթե շփում չլիներ, ապա գնդիկի շարժումը երբեք չէր դադարի: Ուրեմն՝ ազատ պարբերական տատանումների առաջացման երկրորդ պայմանը շփման և դիմադրության ուժերի բացակայությունն է:

Իրականում շփման ուժ (մասնավորապես, օդի դիմադրություն) այս կամ այն չափով միշտ էլ կա, որի հետևանքով տատանումների թափն աստիճանաբար նվազում է, և գնդիկը, ի վերջո, կանգ է առնում: Փոքր շփման դեպքում մարումը նկատելի է դառնում գնդիկի շատ տատանումներ կատարելուց հետո միայն: Եվ եթե գնդիկի շարժումը դիտարկվում է ոչ այնքան մեծ ժամանակամիջոցում, ապա նրա տատանումների մարումը, հետևաբար, նաև դիմադրության ուժի ազդեցությունը, կարելի է անտեսել: Եթե դիմադրության ուժը մեծ է, ապա տատանումները կարող են շատ արագ մարել: Դեռ ավելին, տատանումներ կարող են ընդհանրապես չառաջանալ: Օրինակ, երբ բավականաչափ թույլ զսպանակից ամրացված գնդիկն իջեցնում ենք մածուցիկ հեղուկի (ասենք՝ գլիցերինի) մեջ, շեղում հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնում (նկ. 118), այն պարզապես վերադառնում է հավասարակշռության դիրքն ու կանգ առնում:


Նկ. 118

Եվ, վերջապես, որպեսզի համակարգում ազատ տատանումներ առաջանան, անհրաժեշտ է այն հանել կայուն հավասարակշռության վիճակից: Դրա համար անհրաժեշտ է համակարգին լրացուցիչ էներգիա հաղորդել: Այդ էներգիան կարելի է հաղորդել հետևյալ եղանակներով. մարմինը հավասարակշռության դիրքից շեղելով և այնուհետև ազատ թողնելով (նկ. 119,ա), ինչպես նաև հավասարակշռության դիրքում (նկ. 119,բ) նրան արագություն հաղորդելով, կամ էլ այդ դիրքից շեղելուց հետո (նկ. 119,գ) մարմնին որոշ արագությամբ շարժում հաղորդելով: Այսպիսով՝ համակարգում ազատ տատանումներ առաջանալու համար անհրաժեշտ է հետևյալ երեք պայմանը.

գատ թողնելուց հետո գնդիկը շարժվում է դեպի հավասարակշռության դիրքը՝ աստիճանաբար մեծացնելով արագությունը: Երբ գնդիկը հասնում է հավասարակշռության դիրքին, առաձգականության ուժը դառնում է զրո, իսկ արագությունը հասնում է իր առավելագույն արժեքին: Իներցիայի շնորհիվ գնդիկը շարունակում է շարժվել դեպի ձախ, և զսպանակը սեղմվում է: Արդյունքում ի հայտ է գալիս արդեն դեպի աջ ուղղված և գնդիկի շարժմանն արգելակող ուժ (նկ. 117,գ): Գնդիկի արագությունը փոքրանում է այնքան ժամանակ, մինչև ձախ սահմանային դիրքում դառնում է զրո, և գնդիկը մի պահ «կանգ է առնում»: Այնուհետև այն սկսում է արագացմամբ շարժվել դեպի հավասարակշռության դիրքը: Հավասարակշռության դիրքում առաձգականության ուժը նորից դառնում է զրո, բայց գնդիկը մինչև այդ պահն արդեն հասցնում է արագություն ձեռք բերել և, հետևաբար, շարունակում է շարժվել դեպի աջ: Ուստի զսպանակը սկսում է ձգվել, և դեպի ձախ ուղղված ուժ է առաջանում: Գնդիկի շարժումն արգելակվում է մինչև աջ սահմանային դիրքում «կանգ առնելը», որից հետո նույնությամբ կրկնվում է:



Նկ. 117

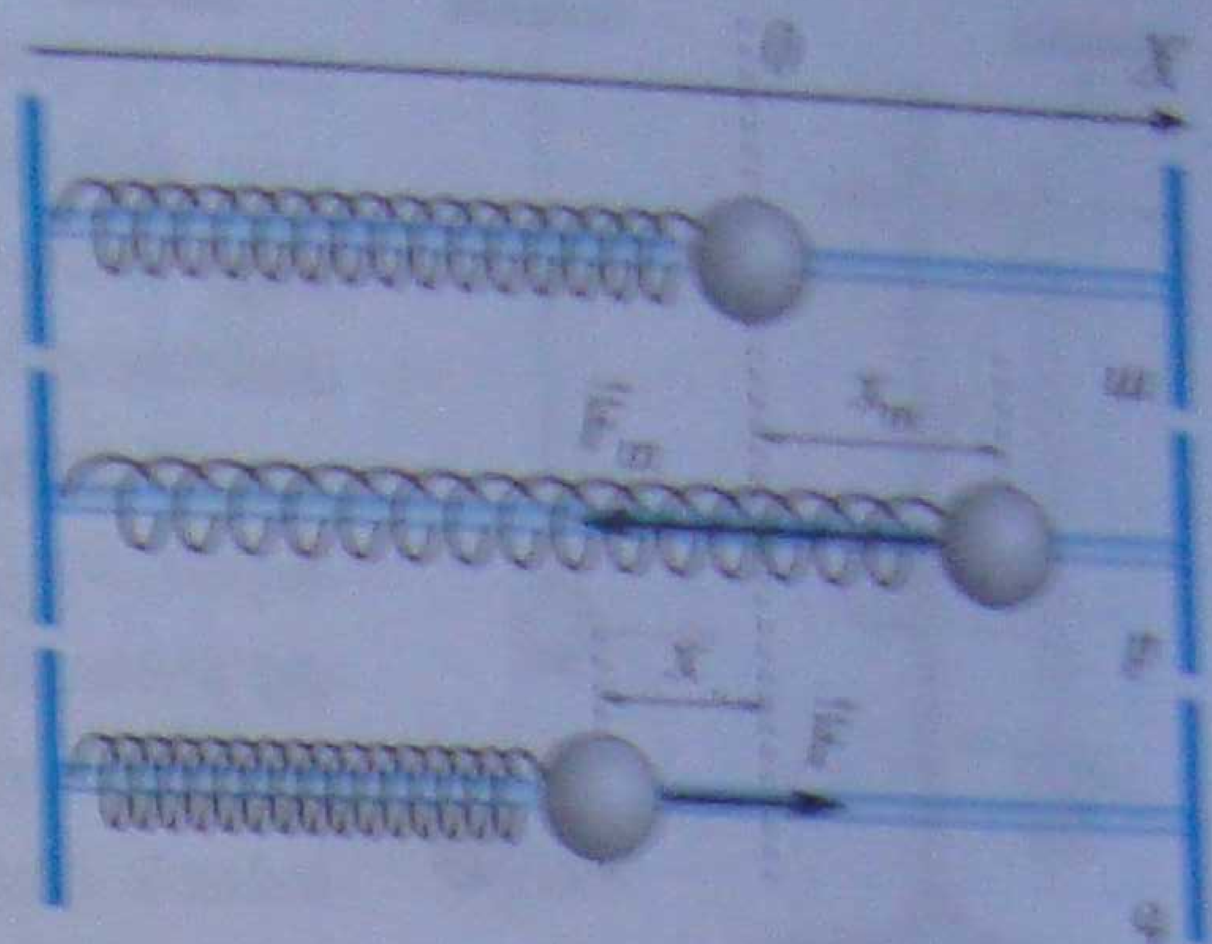
Եթե շփում չլիներ, ապա գնդիկի շարժումը երբեք չէր դադարի: Ուրեմն՝ ազատ պարբերական տատանումների առաջացման երկրորդ պայմանը շփման և դիմադրության ուժերի բացակայությունն է:

Իրականում շփման ուժ (մասնավորապես, օդի դիմադրություն) այս կամ այն չափով միշտ էլ կա, որի հետևանքով տատանումների թափն աստիճանաբար նվազում է, և գնդիկը, ի վերջո, կանգ է առնում: Փոքր շփման դեպքում մարումը նկատելի է դառնում գնդիկի շատ տատանումներ կատարելուց հետո միայն: Եվ եթե գնդիկի շարժումը դիտարկվում է ոչ այնքան մեծ ժամանակամիջոցում, ապա նրա տատանումների մարումը, հետևաբար, նաև դիմադրության ուժի ազդեցությունը, կարելի է անտեսել: Եթե դիմադրության ուժը մեծ է, ապա տատանումները կարող են շատ արագ մարել: Դեռ ավելին, տատանումներ կարող են ընդհանրապես չառաջանալ: Օրինակ, երբ բավականաչափ թույլ զսպանակից ամրացված գնդիկն իջեցնում ենք մածուցիկ հեղուկի (ասենք՝ գլիցերինի) մեջ, շեղում հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնում (նկ. 118), այն պարզապես վերադառնում է հավասարակշռության դիրքն ու կանգ առնում:


Նկ. 118

Եվ, վերջապես, որպեսզի համակարգում ազատ տատանումներ առաջանան, անհրաժեշտ է այն հանել կայուն հավասարակշռության վիճակից: Դրա համար անհրաժեշտ է համակարգին լրացուցիչ էներգիա հաղորդել: Այդ էներգիան կարելի է հաղորդել հետևյալ եղանակներով. մարմինը հավասարակշռության դիրքից շեղելով և այնուհետև ազատ թողնելով (նկ. 119,ա), ինչպես նաև հավասարակշռության դիրքում (նկ. 119,բ) նրան արագություն հաղորդելով, կամ էլ այդ դիրքից շեղելուց հետո (նկ. 119,գ) մարմնին որոշ արագությամբ շարժում հաղորդելով: Այսպիսով՝ համակարգում ազատ տատանումներ առաջանալու համար անհրաժեշտ է հետևյալ երեք պայմանը.

պատ թողնելուց հետո գնդիկը շարժվում է դեպի հավասարակշռության դիրքը՝ աստիճանաբար մեծացնելով արագությունը: Երբ գնդիկը հասնում է հավասարակշռության դիրքին, առաձգականության ուժը դառնում է զրո, իսկ արագությունը հասնում է իր առավելագույն արժեքին: Իներցիայի շնորհիվ գնդիկը շարունակում է շարժվել դեպի ձախ, և զսպանակը սեղմվում է: Արդյունքում ի հայտ է գալիս արդեն դեպի աջ ուղղված և գնդիկի շարժումն արգելակող ուժ (նկ. 117,գ): Գնդիկի արագությունը փոքրանում է այնքան ժամանակ, մինչև ձախ սահմանային դիրքում դառնում է զրո, և գնդիկը մի պահ «կանգ է առնում»: Այնուհետև այն սկսում է արագացմամբ շարժվել դեպի հավասարակշռության դիրքը: Հավասարակշռության դիրքում առաձգականության ուժը նորից դառնում է զրո, բայց գնդիկը մինչև այդ պահն արդեն հասցնում է արագություն ձեռք բերել և, հետևաբար, շարունակում է շարժվել դեպի աջ: Ուստի զսպանակը սկսում է ձգվել, և դեպի ձախ ուղղված ուժ է առաջանում: Գնդիկի շարժումն արգելակվում է մինչև աջ սահմանային դիրքում «կանգ առնելը», որից հետո նույնությամբ կրկնվում է:



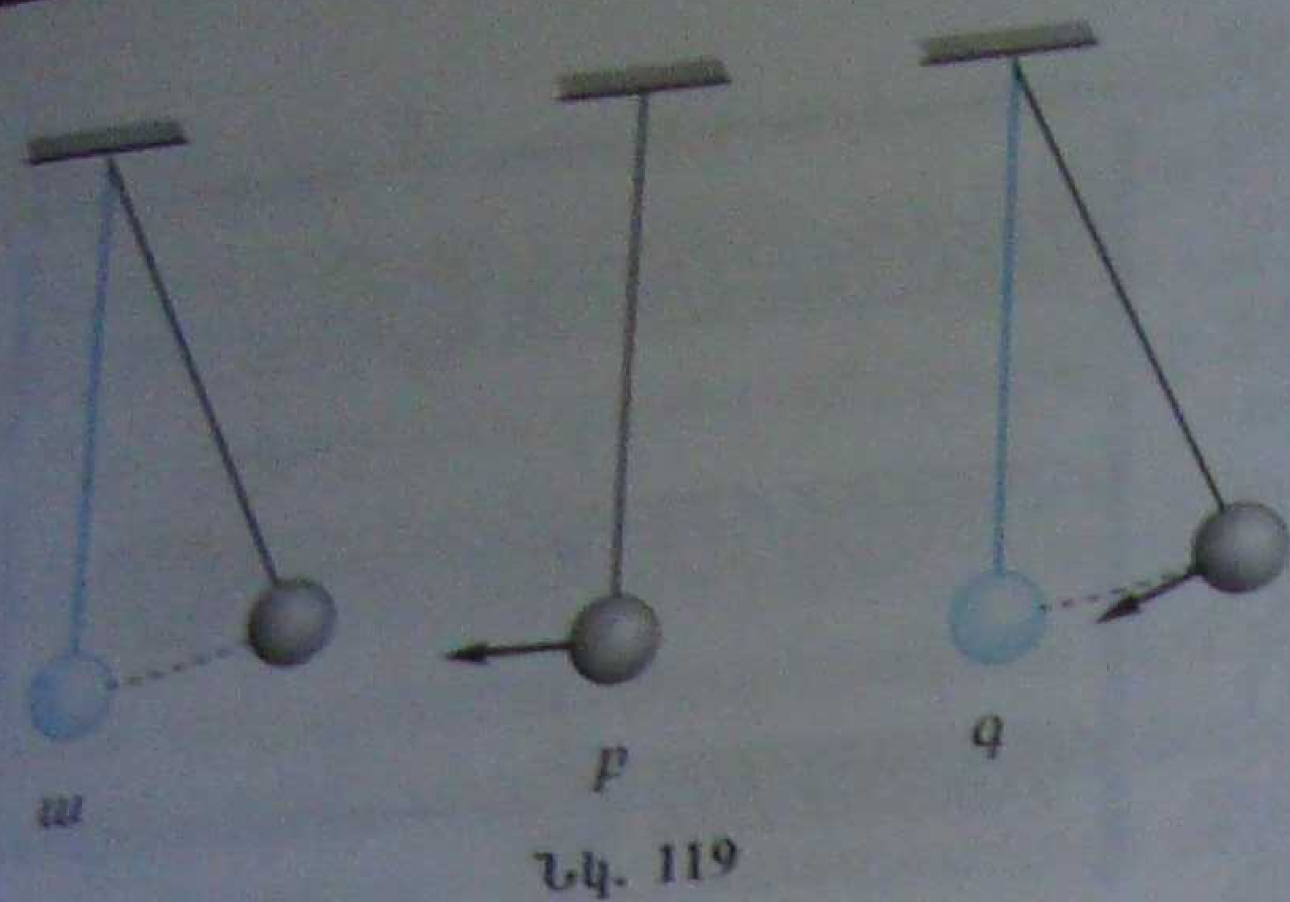
Նկ. 117

Եթե շփում չլիներ, ապա գնդիկի շարժումը երբեք չէր դադարի: Ուրեմն՝ ազատ պարբերական տատանումների առաջացման երկրորդ պայմանը շփման և դիմադրության ուժերի բացակայությունն է:

Իրականում շփման ուժ (մասնավորապես, օդի դիմադրություն) այս կամ այն չափով միշտ էլ կա, որի հետևանքով տատանումների թափն աստիճանաբար նվազում է, և գնդիկը, ի վերջո, կանգ է առնում: Փոքր շփման դեպքում մարումը նկատելի է դառնում գնդիկի շատ տատանումներ կատարելուց հետո միայն: Եվ եթե գնդիկի շարժումը դիտարկվում է ոչ այնքան մեծ ժամանակամիջոցում, ապա նրա տատանումների մարումը, հետևաբար, նաև դիմադրության ուժի ազդեցությունը, կարելի է անտեսել: Երբ դիմադրության ուժը մեծ է, ապա տատանումները կարող են շատ արագ մարել: Դեռ ավելին, տատանումներ կարող են ընդհանրապես չառաջանալ: Օրինակ, երբ բավականաչափ թույլ զսպանակից ամրացված գնդիկն իջեցնում ենք մածուցիկ հեղուկի (ասենք՝ գլիցերինի) մեջ, շեղում հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնում (նկ. 118), այն պարզապես վերադառնում է հավասարակշռության դիրքն ու կանգ առնում:


Նկ. 118

Եվ, վերջապես, որպեսզի համակարգում ազատ տատանումներ առաջանան, անհրաժեշտ է այն հանել կայուն հավասարակշռության վիճակից: Դրա համար անհրաժեշտ է համակարգին լրացուցիչ էներգիա հաղորդել: Այդ էներգիան կարելի է հաղորդել հետևյալ եղանակներով. մարմինը հավասարակշռության դիրքից շեղելով և այնուհետև ազատ թողնելով (նկ. 119,ա), ինչպես նաև հավասարակշռության դիրքում (նկ. 119,բ) նրան արագություն հաղորդելով, կամ էլ այդ դիրքից շեղելուց հետո (նկ. 119,գ) մարմնին որոշ արագությամբ շարժում հաղորդելով: Այսպիսով՝ համակարգում ազատ տատանումներ առաջանալու համար անհրաժեշտ է հետևյալ երեք պայմանը.



Նկ. 119

1. Համակարգը պետք է լրացուցիչ էներգիա ստանա՝ հավասարակշռության դիրքից դուրս գալու համար:

2. Մարմինը հավասարակշռության դիրքից հանելիս համակարգում պետք է առաջանա մի ուժ, որն ուղղված լինի դեպի հավասարակշռության դիրքը:

3. Շփումը համակարգում պետք է աննշան լինի, որպեսզի տատանումները արագորեն չմարեն:

Հարկադրական տատանումներ: Որոշ տատանումներ կարող են տեղի ունենալ միայն այն դեպքում, երբ մարմնի վրա պարբերաբար փոփոխվող արտաքին ուժ է ազդում: Օրինակ՝ աղոյի տատանումների ժամանակ աղոյի վրա մոդուլով և ուղղությամբ պարբերաբար փոփոխվող ուժ է ազդում հյուսնի կողմից: Բավական է դադարեցնել այդ ուժի ազդեցությունը (աղոյը բաց թողնել), և տատանումները կդադարեն: ***Մարմնի տատանումները պարբերաբար փոփոխվող արտաքին ուժերի ազդեցությամբ կոչվում են հարկադրական տատանումներ:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

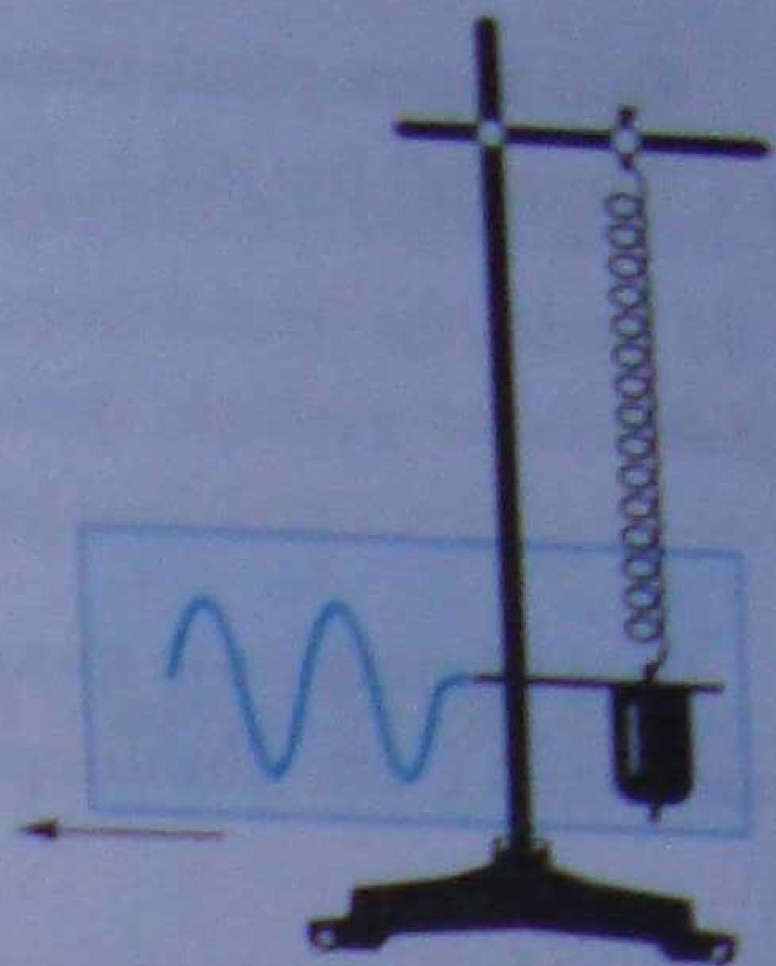
1. *Ի՞նչ է տատանողական շարժումը:*
2. *Բերե՛ք տատանողական շարժման որևէ օրինակ:*
3. *Ո՞ր տատանումներն են կոչվում պարբերական:*
4. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում տատանումների պարբերություն:*
5. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում տատանումների հաճախություն, ի՞նչ միավորով է այն արտահայտվում:*
6. *Ո՞ր տատանումներն են կոչվում ազատ:*
7. *Ի՞նչ պայմաններում են առաջանում ազատ տատանումները:*
8. *Ո՞ր տատանումներն են կոչվում հարկադրական: Բերե՛ք հարկադրական տատանումների օրինակ:*

§ 48. Ներդաշնակ տատանումներ: Ներդաշնակ տատանումների հավասարումը: Ներդաշնակ տատանումների պարբերությունը

Ներդաշնակ տատանումներ: Տատանողական շարժում կատարող մարմնի դիրքը ժամանակի ընթացքում անընդհատ փոխվում է: Եթե մարմնի շարժումը պարբերաբար կրկնվում է, ապա նրա շարժման օրենքը, այսինքն՝ կոորդինատի կախումը ժամանակից շատ հեշտությամբ կարելի է որոշել փորձի միջոցով: Օրինակ՝ զսպանակից ամրացված բեռի կոորդինատի՝ ժամանակից կախումը պատկերող գրաֆիկը ստանալու համար բավական է վերցնել թղթե ժապավեն (նկ. 120) և այն հավասարաչափ շարժել տատանվող մարմնի մոտով, որին նախապես գրանցող սարք է միացված (մատիտ կամ գրիչ):

Տատանվող մարմնի կոորդինատի՝ ժամանակից կախումը պատկերող գրաֆիկն անվանում են ***տատանումների գրաֆիկ***: Տատանումների գրաֆիկի միջոցով հեշտությամբ

որոշվում են տատանողական շարժման կինեմատիկական բնութագրերը: Նկ. 121-ում պատկերված է զսպանակից ամրացված բեռի տատանումների՝ փորձնական եղանակով ստացված մի գրաֆիկ: Գրաֆիկից երևում է, որ շարժման ընթացքում մարմինը հավասարակշռության դիրքից հեռանում է մինչև $x_0 = 5$ *սմ* կոորդինատով կետը, այնուհետև շարժվում հակառակ ուղղությամբ՝ մինչև -5 *սմ* կոորդինատով կետը և վերադառնում հավասարակշռության դիրքը: Դրանից հետո նրա շարժումը կրկնվում է: Տատանումների ժամանակ մարմնի առավելագույն հեռավորությունը հավասարակշռության դիրքից x_0 է, որը տատանողական շարժման կարևոր կինեմատիկական բնութագրերից է և կոչվում է ***տատանումների լայնույթ***:

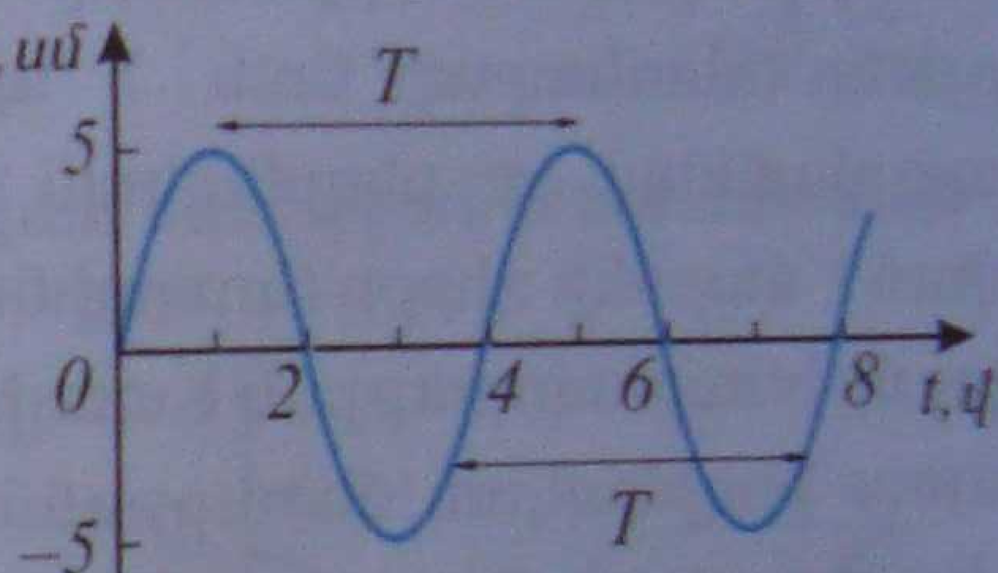


Նկ. 120

Տատանողական շարժում կատարող մարմնի՝ հավասարակշռության դիրքից առավելագույն շեղման մոդուլը կոչվում է տատանումների լայնույթ:

Տատանումների լայնույթը որոշվում է սկզբնական պայմաններով և կարող է ունենալ տարբեր արժեքներ՝ կախված այն բանից, թե ժամանակի սկզբնական պահին որքանով է մարմինը տեղաշարժված հավասարակշռության դիրքից և ինչ արագությամբ շարժում է հաղորդվել այդ դեպքում մարմնին:

Նկ. 121-ից երևում է նաև, որ մարմնի շարժումը նույնությամբ կրկնվում է 4 վ հետո, հետևաբար՝ նրա տատանումների պարբերությունը հավասար է՝ $T = 4$ վ, իսկ հաճախությունը՝ $\nu = 0{,}25$ Հց:



Նկ. 121

Տատանումների գրաֆիկի մանրակրկիտ ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ այն ***սինուսոիդ*** է: Սա նշանակում է, որ զսպանակին ամրացված բեռի տատանումների ժամանակ նրա կոորդինատը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է սինուսի կամ կոսինուսի օրենքով:

Ֆիզիկական մեծության՝ ժամանակից կախված այնպիսի պարբերական փոփոխությունները, որոնք տեղի են ունենում սինուսի կամ կոսինուսի օրենքով, կոչվում են ներդաշնակ տատանումներ:

Այստեղ մենք կքննարկենք կոորդինատի ներդաշնակ փոփոխությունները: Հետագայում կծանոթանանք այլ մեծությունների ներդաշնակ տատանումներին:

Քանի որ սինուսի և կոսինուսի արժեքները փոփոխվում են $[-1, 1]$ միջակայքում, իսկ մարմնի x կոորդինատը՝ $[-x_0, x_0]$-ում, ապա ակնհայտ է, որ մարմնի կոորդինատը ժամանակի t պահին հավասար է լայնույթի և ներդաշնակ ֆունկցիայի արտադրյալին՝

$$x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \qquad (10.4)$$

որտեղ ω-ն ուղղիչ գործակից է, որը մտցվում է այն նպատակով, որ սինուսի արգումենտը ունենա անկյան միավոր, այսինքն՝ ռադիան: Դրա համար ω-ի չափման միավորը պետք է լինի 1 ռադ·վ$^{-1}$: φ_0-ն սինուսի արգումենտն է $t = 0$ պահին: Այն ցույց է տալիս, որ ժամանակի հաշվարկման սկզբնական պահին մարմնի կոորդինատը $x(0) = x_0 \sin\varphi_0$, և կոչվում է տատանման ***սկզբնական փուլ***: $\omega t + \varphi_0$ մեծությունը որոշում է մարմնի կոորդինատը t պահին և կոչվում է ***տատանման փուլ***:

Եթե ներդաշնակ տատանումների պարբերությունը T է, ապա մարմնի կոորդինատը $t+T$ պահին նույնն է, ինչ որ t պահին՝

$$x(t+T) = x(t)\ , \qquad (10.5)$$

կամ

$$x_0\,sin(\omega t + \varphi_0 + \omega T) = x_0\,sin(\omega t + \varphi_0)\ : \qquad (10.6)$$

Մաթեմատիկայի դասընթացից հայտնի է, որ սինուսի նվազագույն պարբերությունը հավասար է 2π: Հետևաբար՝ $\omega T = 2\pi$, որտեղից՝

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu}\ : \qquad (10.7)$$

Համեմատելով ω-ի համար ստացված արտահայտությունը (10.2) և (10.3) արտահայտությունների հետ՝ կարող ենք եզրակացնել, որ ω-ն թվապես հավասար է 2π վ-ում մարմնի կատարած տատանումների թվին: Այն կոչվում է ***շրջանային (ցիկլային) հաճախություն***:

(10.4) հավասարումը մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումն է ներդաշնակ տատանումների դեպքում: Եթե հայտնի են տատանումները բնութագրող հիմնական կինեմատիկական մեծությունները՝ տատանումների x_0 լայնույթը, ω շրջանային հաճախությունը (հետևաբար՝ նաև T պարբերությունն ու ν հաճախությունը), և սկզբնական պայմանները (φ_0 սկզբնական փուլը), ապա այդ հավասարմամբ միարժեքորեն որոշվում է մարմնի դիրքը (կոորդինատը) ժամանակի ցանկացած պահին: (10.4) հավասարումը հնարավորություն է տալիս որոշելու նաև մարմնի շարժման վիճակը բնութագրող մյուս ֆիզիկական մեծությունների՝ ակնթարթային արագության և արագացման արժեքները ժամանակի ցանկացած պահին: Իրոք, հայտնի է, որ մարմնի ակնթարթային արագությունը նրա կոորդինատի ածանցյալն է ըստ ժամանակի: Արագացումն արագության ածանցյալն է ըստ ժամանակի կամ կոորդինատի երկրորդ ածանցյալն ըստ ժամանակի*: Հետևաբար՝ մարմնի υ արագությունը՝

$$\upsilon = x' = \left(x_0\,sin(\omega t + \varphi_0)\right)' = \omega x_0\,cos(\omega t + \varphi_0) = \omega x_0\,sin(\omega t + \varphi_0 + \pi/2)\ : \qquad (10.8)$$

Ստացված բանաձևից երևում է, որ ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի արագությունը նույնպես փոփոխվում է ներդաշնակության օրենքով, ընդ որում, արագության լայնույթը հավասար է ωx_0: (10.4) և (10.8) հավասարությունների համեմատությունից պարզ է դառնում, որ արագության տատանումները $\pi/2$ փուլով առաջ են ընկնում կոորդինատի տատանումներից: Սա նշանակում է, որ երբ կոորդինատը հավասար է զրոյի, արագությունն առավելագույնն է, իսկ երբ կոորդինատն է առավելագույնը, արագությունը հավասար է զրոյի (նկ. 122): Իրոք, զսպանակից ամրացված բեռի տատանումների ժամանակ մենք տեսանք, որ հավասարակշռության դիրքում մարմնի շարժման արագությունն առավելագույնն է, իսկ առավելագույն շեղման դիրքում մարմինը մի պահ «կանգ է առնում»:

Ածանցելով (10.8) հավասարությունը՝ կորոշենք մարմնի արագացումը՝

* Հակիրճ լինելու համար ասում ենք արագություն և արագացում: Իրականում նկատի ունենք այդ վեկտորական մեծությունների պրոյեկցիաները:

Եթե ներդաշնակ տատանումների պարբերությունը T է, ապա մարմնի կոորդինատը $t+T$ պահին նույնն է, ինչ որ t պահին՝

$$x(t+T)=x(t)\ , \qquad (10.5)$$

կամ

$$x_0\,sin(\omega t+\varphi_0+\omega T)=x_0\,sin(\omega t+\varphi_0)\ : \qquad (10.6)$$

Մաթեմատիկայի դասընթացից հայտնի է, որ սինուսի նվազագույն պարբերությունը հավասար է 2π: Հետևաբար՝ $\omega T=2\pi$, որտեղից՝

$$\boxed{\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi\nu}\ : \qquad (10.7)$$

Համեմատելով ω-ի համար ստացված արտահայտությունը (10.2) և (10.3) արտահայտությունների հետ՝ կարող ենք եզրակացնել, որ ω-ն թվապես հավասար է 2π վ-ում մարմնի կատարած տատանումների թվին: Այն կոչվում է *շրջանային (ցիկլային) հաճախություն*:

(10.4) հավասարումը մեխանիկայի հիմնական խնդրի լուծումն է ներդաշնակ տատանումների դեպքում: Եթե հայտնի են տատանումները բնութագրող հիմնական կինեմատիկական մեծությունները՝ տատանումների x_0 լայնույթը, ω շրջանային հաճախությունը (հետևաբար՝ նաև T պարբերությունն ու ν հաճախությունը), և սկզբնական պայմանները (φ_0 սկզբնական փուլը), ապա այդ հավասարմամբ միարժեքորեն որոշվում է մարմնի դիրքը (կոորդինատը) ժամանակի ցանկացած պահին: (10.4) հավասարումը հնարավորություն է տալիս որոշելու նաև մարմնի շարժման վիճակը բնութագրող մյուս ֆիզիկական մեծությունների՝ ակնթարթային արագության և արագացման արժեքները ժամանակի ցանկացած պահին: Իրոք, հայտնի է, որ մարմնի ակնթարթային արագությունը նրա կոորդինատի ածանցյալն է ըստ ժամանակի: Արագացումն արագության ածանցյալն է ըստ ժամանակի կամ կոորդինատի երկրորդ ածանցյալն ըստ ժամանակի*: Հետևաբար՝ մարմնի υ արագությունը՝

$$\upsilon=x'=\left(x_0\,sin(\omega t+\varphi_0)\right)'=\omega x_0\,cos(\omega t+\varphi_0)=\omega x_0\,sin(\omega t+\varphi_0+\pi/2)\ : \qquad (10.8)$$

Ստացված բանաձևից երևում է, որ ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի արագությունը նույնպես փոփոխվում է ներդաշնակության օրենքով, ընդ որում, արագության լայնույթը հավասար է ωx_0: (10.4) և (10.8) հավասարությունների համեմատությունից պարզ է դառնում, որ արագության տատանումները $\pi/2$ փուլով առաջ են ընկնում կոորդինատի տատանումներից: Սա նշանակում է, որ երբ կոորդինատը հավասար է զրոյի, արագությունն առավելագույնն է, իսկ երբ կոորդինատն է առավելագույնը, արագությունը հավասար է զրոյի (նկ. 122): Իրոք, զսպանակից ամրացված բեռի տատանումների ժամանակ մենք տեսանք, որ հավասարակշռության դիրքում մարմնի շարժման արագությունն առավելագույնն է, իսկ առավելագույն շեղման դիրքում մարմինը մի պահ «կանգ է առնում»:

Ածանցելով (10.8) հավասարությունը՝ կորոշենք մարմնի արագացումը՝

* Հակիրճ լինելու համար ասում ենք արագություն և արագացում: Իրականում նկատի ունենք այդ վեկտորական մեծությունների պրոյեկցիաները:

$$a = \left(\omega x_0 \cos(\omega t + \varphi_0)\right)' = -\omega^2 x_0 \sin(\omega t + \varphi_0) = \omega^2 x_0 \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi) : \quad (10.9)$$

Արագացման տատանումների փուլը π-ով տարբերվում է կոորդինատի տատանումների փուլից: Նման դեպքում ասում են, որ արագացումը և կոորդինատը գտնվում են հակափուլերում (նկ. 122): Սա նշանակում է, որ երբ կոորդինատի արժեքը հասնում է ամենամեծ դրական արժեքին, արագացումը հասնում է մոդուլով ամենամեծ բացասական արժեքին և հակառակը:

Ներդաշնակ տատանումների հավասարումը: (10.4) և (10.9) հավասարումների համեմատությունից հետևում է, որ՝

$$\boxed{x'' + \omega^2 x = 0} : \quad (10.10)$$

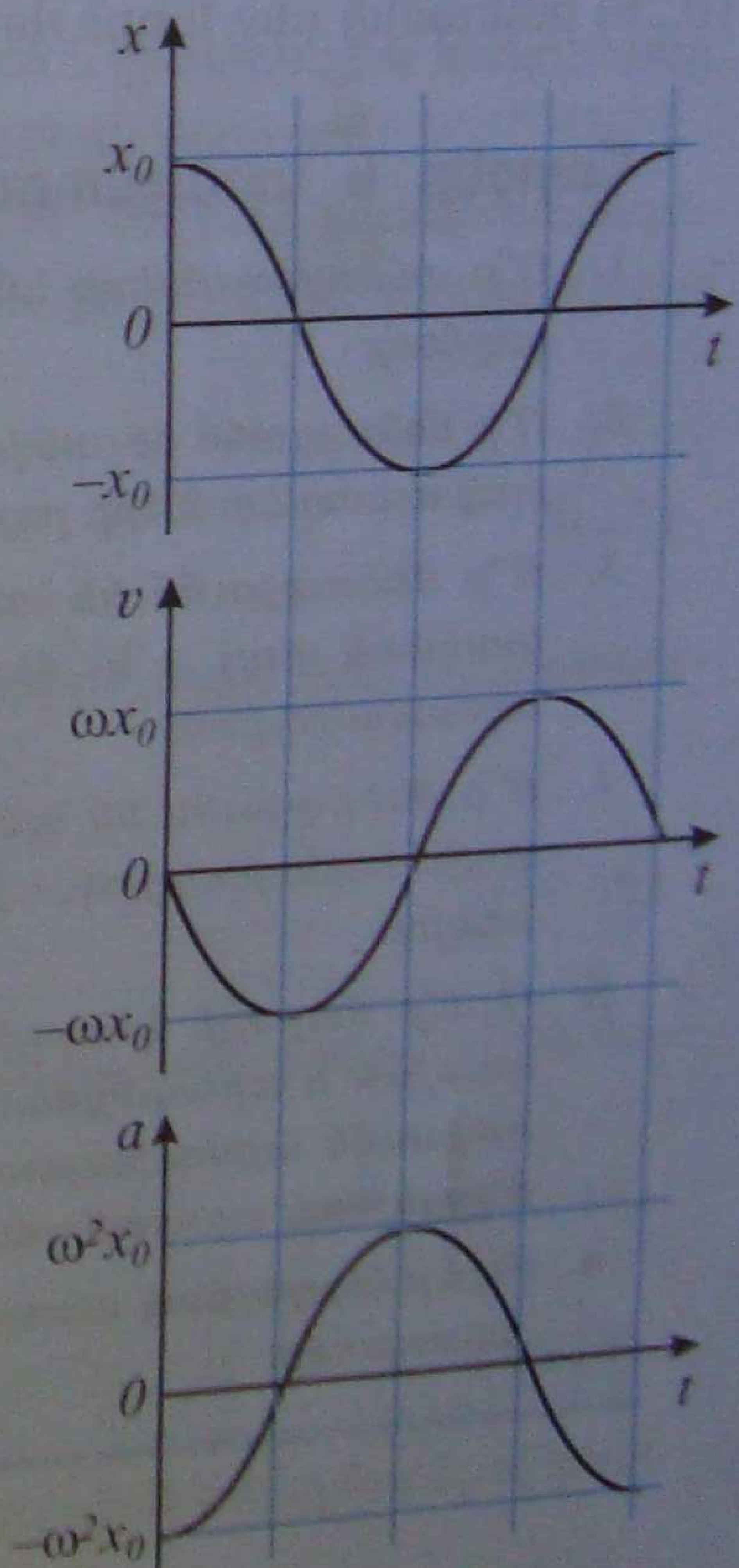
(10.10) հավասարումը ներդաշնակ տատանումների հավասարումն է: (10.4) ֆունկցիան այդ հավասարման ընդհանուր լուծումն է: Սա նշանակում է, որ բոլոր այն դեպքերում, երբ f ֆիզիկական մեծությունը բավարարում է

$$f'' + \omega^2 f = 0 \quad (10.11)$$

հավասարմանը, կարելի է պնդել, որ այդ մեծությունը ժամանակի ընթացքում տատանվում է ներդաշնակորեն.

$$f(t) = f_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (10.12)$$

որտեղ f_0-ն և φ_0-ն համապատասխանաբար f ֆիզիկական մեծության տատանումների լայնույթը և սկզբնական փուլն են, որոնք յուրաքանչյուր դեպքում որոշվում են սկզբնական պայմաններով:



Նկ. 122

Գտնենք, թե ինչ ուժ է ազդում մարմնի վրա, երբ այն ներդաշնակ տատանումներ է կատարում: Նյուտոնի երկրորդ օրենքն արտահայտող $F = ma = mx''$ բանաձևի մեջ տեղադրելով x''-ը (10.10) հավասարումից՝ կստանանք՝

$$F = -m\omega^2 x = -kx, \quad (10.13)$$

որտեղ

$$k = m\omega^2 : \quad (10.14)$$

(10.14) բանաձևից որոշվող

$$\boxed{\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (10.15)$$

մեծությունը կախված է միայն համակարգի k և m բնութագրերից, ուստի ազատ տատանումների ω հաճախությունն անվանում են տատանողական համակարգի ***սեփական հաճախություն***:

Ստացվեց, որ մարմնի վրա ազդող ուժն ուղիղ համեմատական է հավասարակշռության դիրքից մարմնի շեղմանը: «–» նշանը ցույց է տալիս, որ այդ ուժն ուղղված

է շեղմանը հակառակ, այսինքն՝ դեպի հավասարակշռության դիրքը: Այս պայմաննե-րին, մասնավորապես, բավարարում է Հուկի օրենքով որոշվող առաձգականության ուժը: Այդ պատճառով (10.13) տեսքի ուժերին, անկախ նրանց բնույթից, անվանում են **քվա-զիառաձգական** («քվազի»՝ հունարեն «կարծես թե» բառից) ուժեր, իսկ k համեմատա-կանության գործակիցը՝ **քվազիկոշտություն**:

Այսպիսով, մարմինը կատարում է ներդաշնակ տատանումներ այն և միայն այն դեպքում, երբ նրա վրա քվազիառաձգական ուժ է ազդում: Ընդ որում, ինչպես հետևում է (10.7) և (10.15) հավասարություններից, այդ տատանումների պարբերությունը՝

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}: \qquad (10.16)$$

Մասնավորապես, ազատ տատանումները ներդաշնակ են, եթե համակարգում գործող ներքին ուժերը քվազիառաձգական են: Ուրեմն, որպեսզի ցույց տանք, որ այս կամ այն ազատ տատանումը ներդաշնակ է, և որպեսզի որոշենք տատանումների պարբերությունը, անհրաժեշտ է.

1. Ցույց տալ, որ մարմինը հավասարակշռության դիրքից շեղելուց և ազատ թողնելուց հետո նրա վրա ազդող ուժերի համազորն ուղղված է դեպի հավասարակշռության դիրքը:

2. Ապացուցել, որ այդ ուժը կամ նրա որևէ բաղադրիչը ուղիղ համեմատական են շեղմանը, և գտնել k քվազիկոշտությունը:

3. Քվազիկոշտությունը տեղադրել ներդաշնակ տատանումների պարբերության (10.16) բանաձևի մեջ և որոշել տատանումների պարբերությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր տատանումներն են կոչվում ներդաշնակ:*
2. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում ներդաշնակ տատանումների լայնույթ:*
3. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում տատանման փուլ, ի՞նչ միավորով է այն արտահայտվում:*
4. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում շրջանային հաճախություն, և ի՞նչ է այն ցույց տալիս:*
5. *Գրե՛ք մարմնի կոորդինատի, արագության և արագացման՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևերը ներդաշնակ տատանումների դեպքում:*
6. *Գրե՛ք ներդաշնակ տատանումների հավասարումը:*
7. *Ինչպիսի՞ ուժերի ազդեցությամբ է մարմինը կատարում ներդաշնակ տատանումներ:*
8. *Ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի արագությունը ո՞ր դիրքերում է հավասար զրոյի: Ինչի՞ է հավասար արագացման մոդուլն այդ դիրքերում: Ո՞ր դիրքերում է այն հավասար զրոյի:*
9. *Ինչի՞ է հավասար ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի տեղափոխությունը մեկ պարբերության ընթացքում:*
10. *Ինչի՞ է հավասար ուղիղ գծով ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի անցած ճանապարհը մեկ պարբերության ընթացքում, եթե տատանումների լայնույթը x_0 է:*

§ 49. Էներգիայի փոխակերպումները ներդաշնակ տատանումների ժամանակ

Ներդաշնակ տատանումներ առաջանալու պայմաններից մեկը համակարգը հավասարակշռության դիրքից դուրս բերելու համար նրան լրացուցիչ էներգիա հաղորդելն է: Համակարգի էներգիայի հետագա «ճակատագիրը» կախված է համակարգում գործող շփման ու դիմադրության ուժերից:

Նախ ուսումնասիրենք, թե ինչպես է փոփոխվում ժամանակի ընթացքում տատանողական շարժում կատարող մարմնի էներգիան շփման ու դիմադրության ուժերի բացակայության դեպքում:

Զսպանակին ամրացված գնդիկը (տե՛ս նկ. 118) տեղաշարժելով դեպի աջ x_m հեռավորությամբ՝ մենք տատանողական համակարգին հաղորդում ենք առաձգականության ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիայի որոշ պաշար: Գնդիկը ձախ շարժվելիս զսպանակի դեֆորմացիան փոքրանում է, ուստի փոքրանում է նաև նրա պոտենցիալ էներգիան: Բայց միաժամանակ մեծանում է գնդիկի շարժման արագությունը, և, հետևաբար, աճում է կինետիկ էներգիան: Հավասարակշռության դիրքով անցնելու պահին գնդիկի պոտենցիալ էներգիան դառնում է նվազագույնը, իսկ կինետիկ էներգիան հասնում է առավելագույն արժեքի:

Հավասարակշռության դիրքն անցնելուց հետո արագությունն սկսում է նվազել: Հետևաբար, նվազում է նաև կինետիկ էներգիան: Իսկ պոտենցիալ էներգիան կրկին աճում է: Ձախ սահմանային դիրքում այն հասնում է առավելագույն արժեքին, իսկ կինետիկ էներգիան դառնում է զրո: Այսպիսով՝ տատանումների ժամանակ տեղի է ունենում պոտենցիալ էներգիայի պարբերական փոխակերպում կինետիկի և հակառակը: Այդ նույնը կարելի է նկատել նաև ճոճանակի տատանումների դեպքում:

Քանի որ մարմնի ներդաշնակ տատանումները տեղի են ունենում քվազիառաձգական ուժի ազդեցությամբ, ապա հետագծի ցանկացած կետում մարմինն օժտված է այդ ուժով պայմանավորված պոտենցիալ էներգիայով՝

$$W_պ = \frac{kx^2}{2} : \qquad (10.17)$$

Հետևաբար, ներդաշնակ տատանումների դեպքում համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան՝

$$\boxed{W = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}} : \qquad (10.18)$$

Մարմնի կոորդինատը և արագությունը ժամանակի ընթացքում փոխվում են ներդաշնակ օրենքով՝

$$\boxed{x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)} , \qquad (10.19)$$

$$v = \omega x_0 \cos(\omega t + \varphi_0) : \qquad (10.20)$$

Լրիվ մեխանիկական էներգիայի (10.18) արտահայտության մեջ տեղադրելով կոորդինատի և արագության արժեքները՝ կստանանք

$$W = \frac{kx_0^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)}{2} + \frac{m\omega^2 x_0^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)}{2} : \quad (10.21)$$

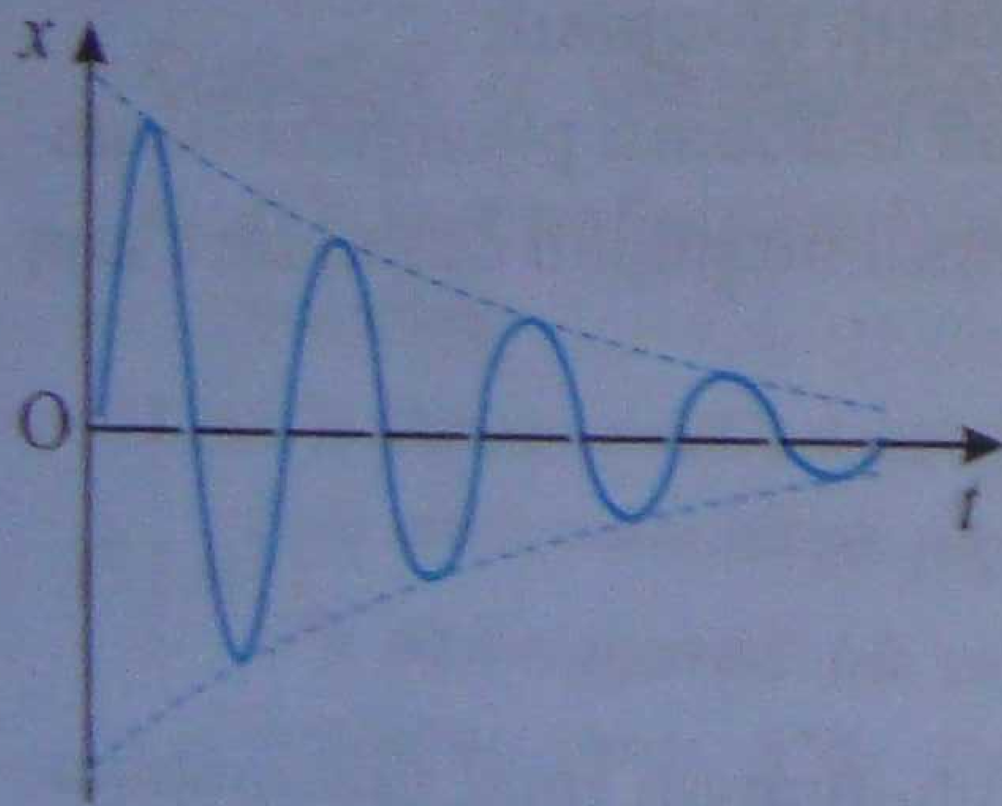
Հաշվի առնելով (10.14) առնչությունը և հիմնական եռանկյունաչափական նույնությունը՝ կստանանք՝

$$W = \frac{kx_0^2}{2}\left[\sin^2(\omega t + \varphi_0) + \cos^2(\omega t + \varphi_0)\right] = \frac{kx_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} : \quad (10.22)$$

Այսպիսով, ժամանակի ընթացքում տատանվող մարմնի կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները պարբերաբար փոփոխվում են, բայց ցանկացած պահին մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան նույնն է և հավասար առավելագույն շեղման դիրքում մարմնի պոտենցիալ էներգիային (երբ նրա կինետիկ էներգիան հավասար է զրոյի) կամ կինետիկ էներգիային՝ հավասարակշռության դիրքում (երբ նրա պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի): Սա էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքն է ներդաշնակ տատանումների դեպքում:

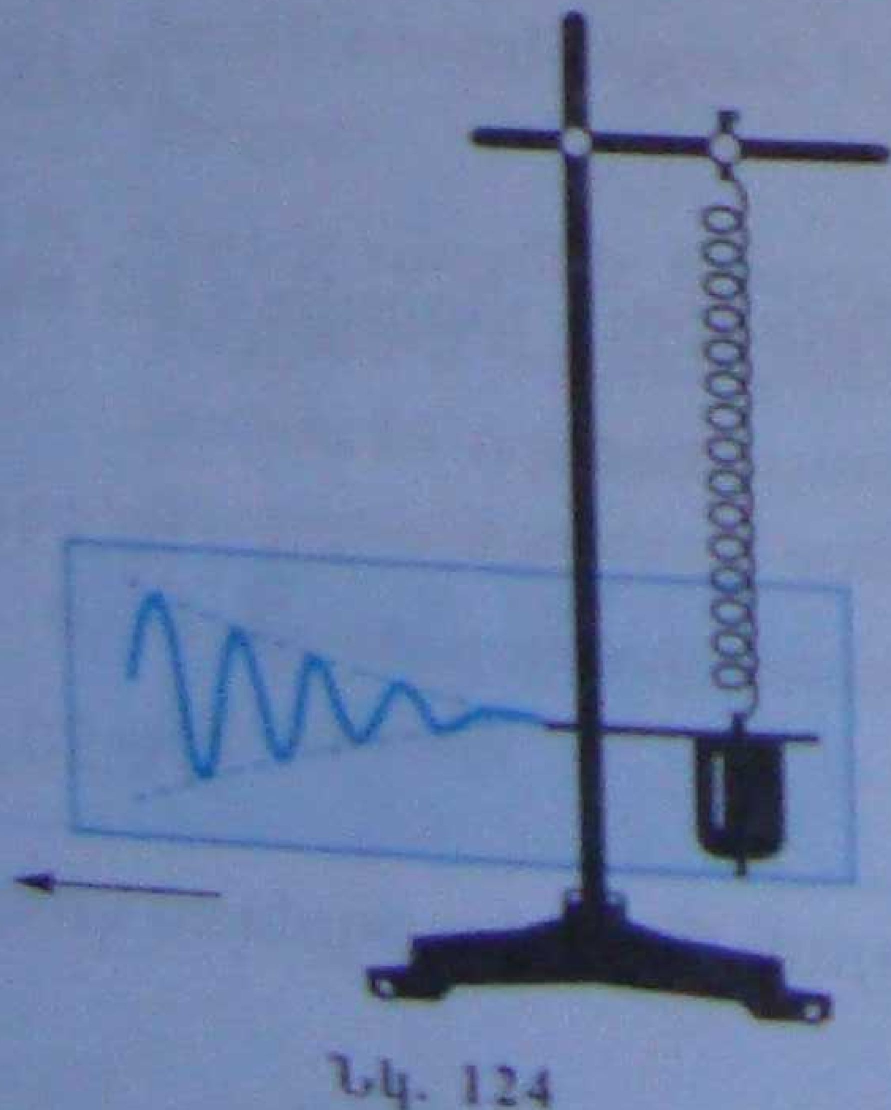
(10.22) հավասարությունից երևում է, որ ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան ուղիղ համեմատական է կոորդինատի տատանումների լայնույթի քառակուսուն կամ արագության տատանումների լայնույթի քառակուսուն:

Մարող տատանումներ: Զսպանակին ամրացված բեռի կամ ճոճանակի ազատ տատանումները ներդաշնակ են միայն այն դեպքում, երբ շփման ու դիմադրության ուժեր չկան: Բայց այդ ուժերը, թեև կարող են շատ փոքր լինել, այնուամենայնիվ, միշտ էլ ազդում են տատանվող մարմնի վրա:



Նկ. 123

Դիմադրության ուժերը կատարում են բացասական աշխատանք և դրանով իսկ նվազեցնում համակարգի մեխանիկական էներգիան: Այդ պատճառով ժամանակի ընթացքում հավասարակշռության դիրքից մարմնի առավելագույն շեղումները դառնում են ավելի ու ավելի փոքր: Վերջ ի վերջո, երբ մեխանիկական էներգիայի պաշարն սպառվում է, տատանումները բոլորովին դադարում են կամ, ինչպես ասում են, մարում են: Ուրեմն, դիմադրության ուժերի առկայության դեպքում ազատ տատանումները *մարող* են:



Նկ. 124

Մարմնի կոորդինատի՝ ժամանակից կախման գրաֆիկը մարող տատանումների դեպքում պատկերված է նկ. 123-ում: Նման գրաֆիկ կարելի է ստիպել, որ գծի հենց տատանվող մարմինը, ինչպես, օրինակ, փորձնական եղանակով տատանման գրաֆիկի ստացման՝ նախորդ պարագրաֆում նկարագրված փորձում (նկ. 124): Փոքր դիմադրության դեպքում տատանումների մարումը մի քանի պարբերության ընթացքում քիչ է, իսկ եթե դիմադրության ուժը մեծ է, ապա մարումը զգալի է:

$$W = \frac{kx_0^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)}{2} + \frac{m\omega^2 x_0^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)}{2} : \qquad (10.21)$$

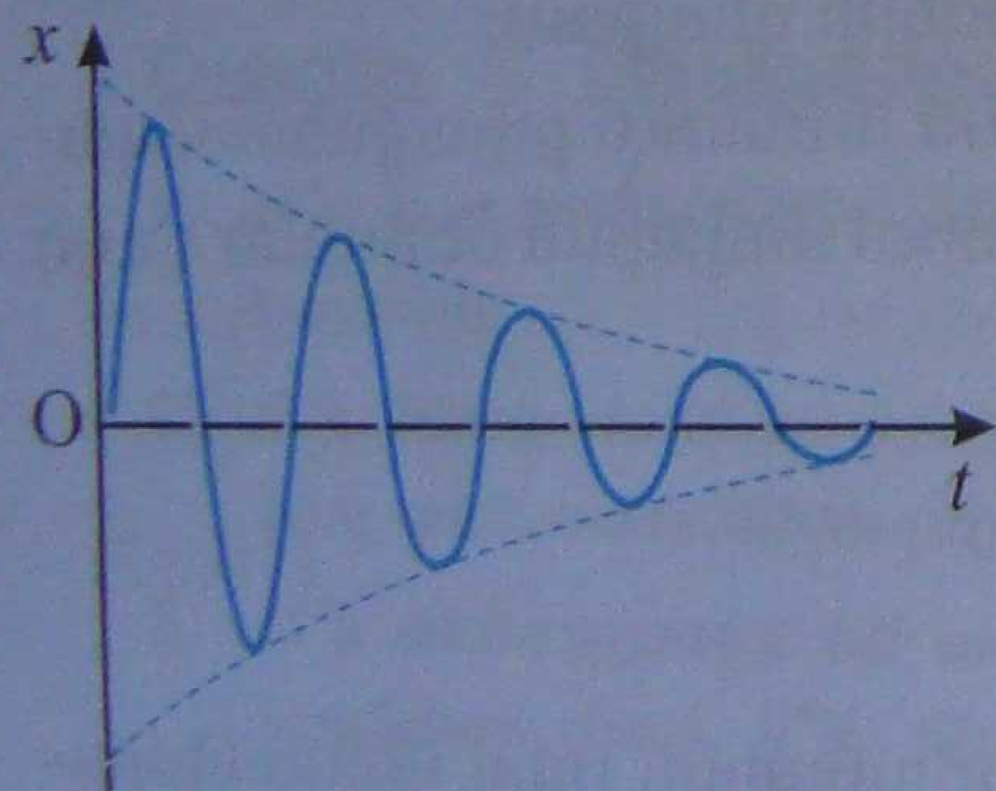
Հաշվի առնելով (10.14) առնչությունը և հիմնական եռանկյունաչափական նույնությունը՝ կստանանք՝

$$W = \frac{kx_0^2}{2}\left[\sin^2(\omega t + \varphi_0) + \cos^2(\omega t + \varphi_0)\right] = \frac{kx_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} : \qquad (10.22)$$

Այսպիսով, ժամանակի ընթացքում տատանվող մարմնի կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները պարբերաբար փոփոխվում են, բայց ցանկացած պահին մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան նույնն է և հավասար առավելագույն շեղման դիրքում մարմնի պոտենցիալ էներգիային (երբ նրա կինետիկ էներգիան հավասար է զրոյի) կամ կինետիկ էներգիային՝ հավասարակշռության դիրքում (երբ նրա պոտենցիալ էներգիան հավասար է զրոյի): Սա էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքն է ներդաշնակ տատանումների դեպքում:

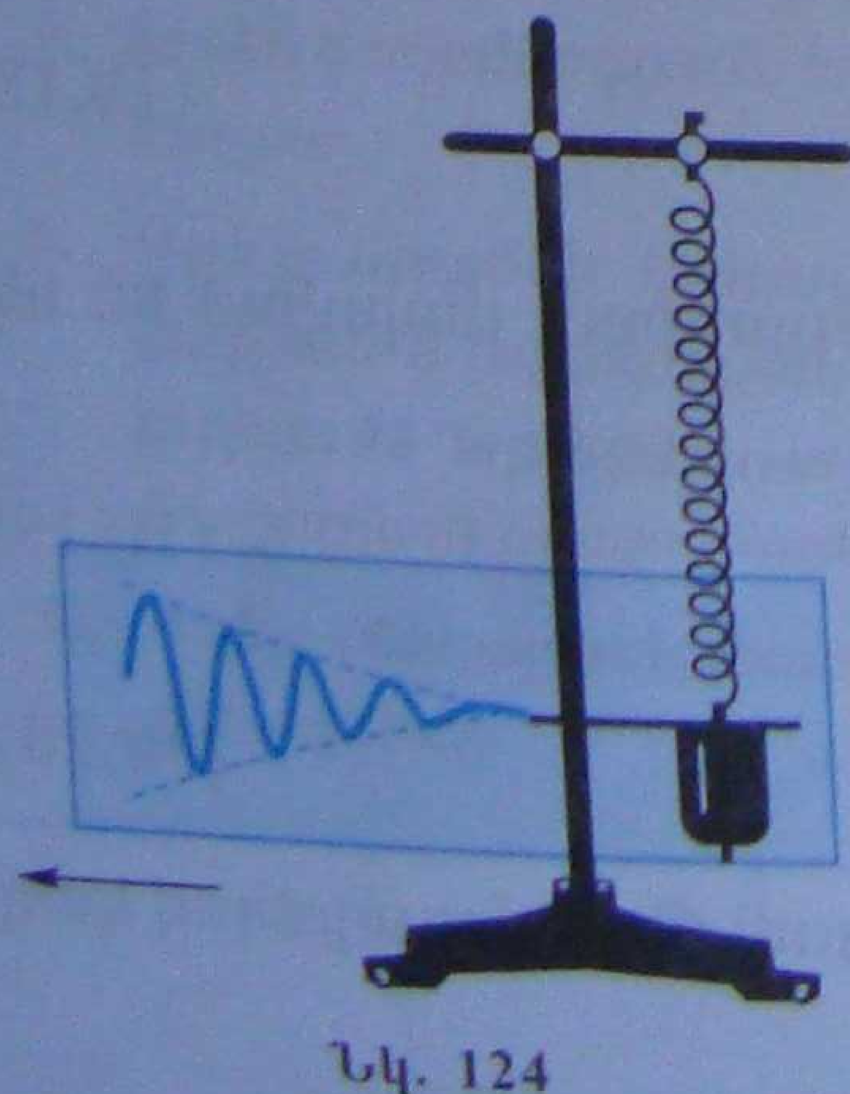
(10.22) հավասարությունից երևում է, որ ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի լրիվ մեխանիկական էներգիան ուղիղ համեմատական է կոորդինատի տատանումների լայնույթի քառակուսուն կամ արագության տատանումների լայնույթի քառակուսուն:

Մարող տատանումներ: Զսպանակին ամրացված բեռի կամ ճոճանակի ազատ տատանումները ներդաշնակ են միայն այն դեպքում, երբ շփման ու դիմադրության ուժեր չկան: Բայց այդ ուժերը, թեև կարող են շատ փոքր լինել, այնուամենայնիվ, միշտ էլ ազդում են տատանվող մարմնի վրա:



Նկ. 123

Դիմադրության ուժերը կատարում են բացասական աշխատանք և դրանով իսկ նվազեցնում համակարգի մեխանիկական էներգիան: Այդ պատճառով ժամանակի ընթացքում հավասարակշռության դիրքից մարմնի առավելագույն շեղումները դառնում են ավելի ու ավելի փոքր: Վերջ ի վերջո, երբ մեխանիկական էներգիայի պաշարն սպառվում է, տատանումները բոլորովին դադարում են կամ, ինչպես ասում են, մարում են: Ուրեմն, դիմադրության ուժերի առկայության դեպքում ազատ տատանումները ***մարող*** են:


Նկ. 124

Մարմնի կոորդինատի՝ ժամանակից կախման գրաֆիկը մարող տատանումների դեպքում պատկերված է նկ. 123-ում: Նման գրաֆիկ կարելի է ստիպել, որ գծի հենց տատանվող մարմինը, ինչպես, օրինակ, փորձնական եղանակով տատանման գրաֆիկի ստացման՝ նախորդ պարագրաֆում նկարագրված փորձում (նկ. 124): Փոքր դիմադրության դեպքում տատանումների մարումը մի քանի պարբերության ընթացքում քիչ է, իսկ եթե դիմադրության ուժը մեծ է, ապա մարումը զգալի է:

Ավտոմեքենաներում կիրառվում են հատուկ **ամորտիզատորներ** անհարթ ճանապարհով ընթացքի ժամանակ ավտոմեքենայի թափքի տատանումները մարելու համար: Թափքի տատանումների ժամանակ նրա հետ կապված մխոցը շարժվում է հեղուկով լցված գլանում: Հեղուկը հոսում է մխոցի անցքերով, որը հանգեցնում է դիմադրության մեծ ուժերի առաջացմանն ու տատանումների արագ մարմանը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք տատանողական շարժման լրիվ մեխանիկական էներգիայի արտահայտությունը:*
2. *Ինչի՞ է հավասար ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի մեխանիկական էներգիան՝ ա) հավասարակշռության դիրքով անցնելիս, բ) եզրային դիրքերում:*
3. *Ո՞ր դիրքերում է առավելագույնը՝ ա) կինետիկ էներգիան, բ) պոտենցիալ էներգիան, գ) լրիվ մեխանիկական էներգիան:*
4. *Ո՞ր դիրքերում է նվազագույնը՝ ա) կինետիկ էներգիան, բ) պոտենցիալ էներգիան, գ) լրիվ մեխանիկական էներգիան:*
5. *Ի՞նչ պայմանների դեպքում են ազատ տատանումները մարող:*

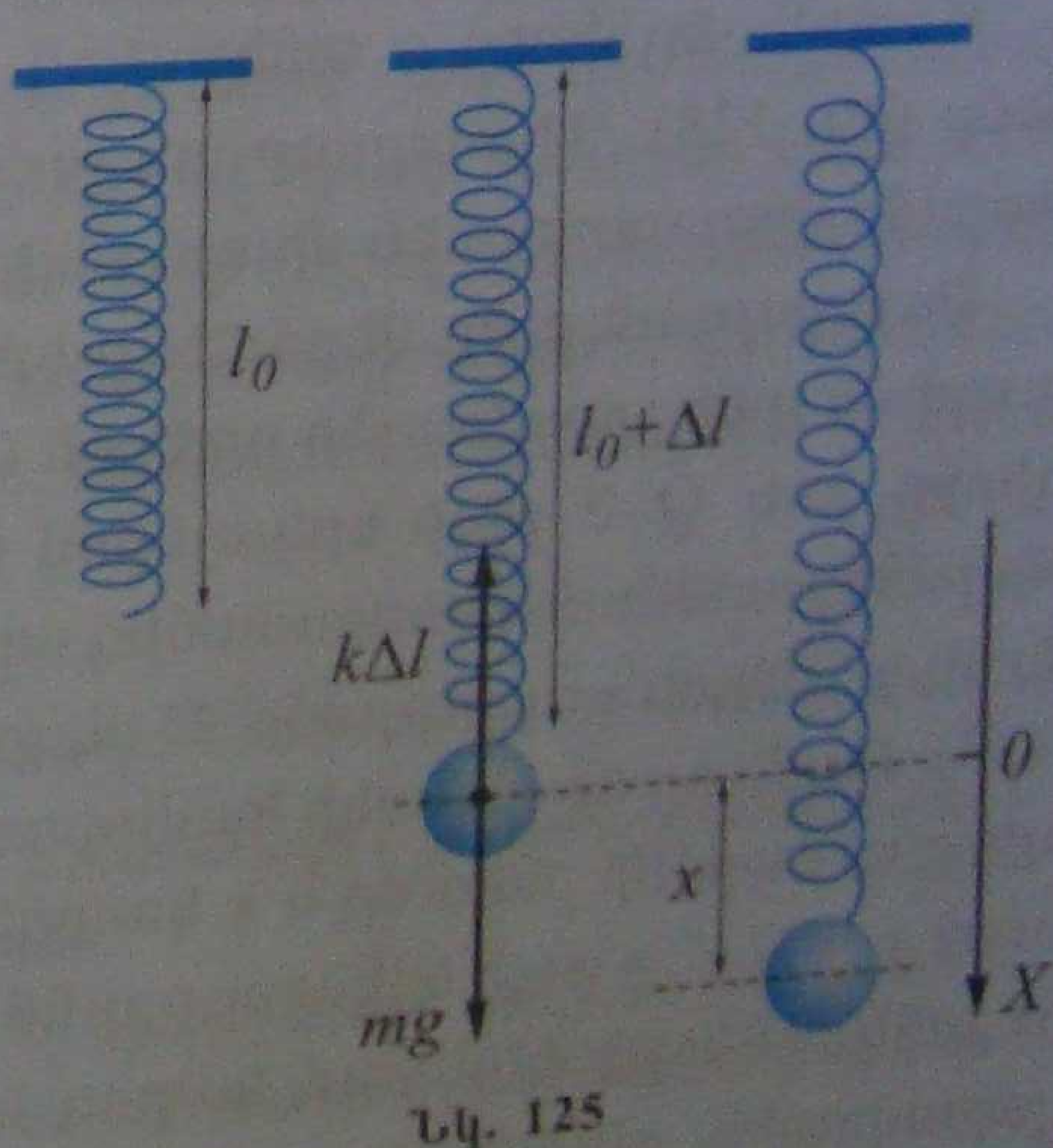
§ 50. Ճոճանակներ

Լայնորեն տարածված տատանողական համակարգերից են տարբեր տիպերի ճոճանակները: Ընդհանրապես ճոճանակ կոչվում է այն պինդ մարմինը, որը կիրառված ուժերի ազդեցությամբ տատանումներ է կատարում անշարժ կետի կամ առանցքի շուրջը: Որպես պարզագույն տատանողական համակարգեր ուսումնասիրենք զսպանակավոր և մաթեմատիկական ճոճանակները:

Զսպանակավոր ճոճանակ: Անկշիռ զսպանակից և նրան ամրացված m զանգվածով գնդիկից կազմված համակարգը կոչվում է ***զսպանակավոր ճոճանակ***: Երբ համակարգը գտնվում է հավասարակշռության դիրքում, գնդիկի վրա ազդող mg ծանրության ուժը համակշռվում է զսպանակի $k\Delta l$ առաձգականության ուժով (նկ. 125).

$$mg = k\Delta l\ , \qquad (10.23)$$

որտեղ Δl-ը զսպանակի երկարացումն է, k-ն՝ կոշտությունը: Եթե համակարգին լրացուցիչ էներգիա հաղորդենք, օրինակ՝ գնդիկին ուղղաձիգ դեպի ներքև շարժում հաղորդելով, ապա գնդիկը կսկսի տատանվել: Կոորդինատային X առանցքն ուղղենք դեպի ներքև՝ հաշվարկման սկզբնակետը համընկեցնելով հավասարակշռության դիրքին: Այդ դեպքում հավասարակշռության դիրքից գնդիկի շեղումը հավասար կլինի նրա x կոորդինատին, իսկ զսպանակի երկարացումը՝ $\Delta l + x$: Գնդիկի վրա ազդող արդյունարար ուժի պրոյեկցիան հավասար կլինի՝



Նկ. 125

$$F_x = mg - k(\Delta l + x): \qquad (10.24)$$

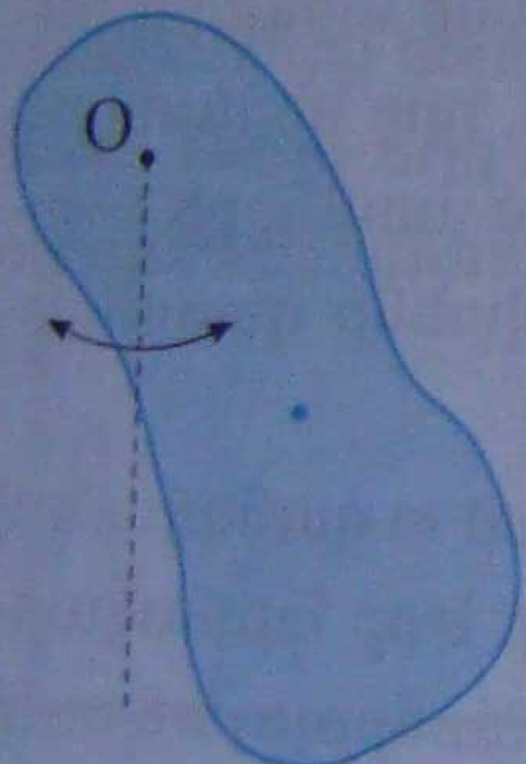
(10.23) և (10.24) հավասարումներից՝

$$F_x = -kx : \qquad (10.25)$$

Ստացվեց, որ գնդիկի վրա ազդող ծանրության և առաձգականության ուժերի համազորը քվազիառաձգական ուժ է, այսինքն՝ համեմատական է հավասարակշռության դիրքից մարմնի շեղմանը, ընդ որում, համեմատականության գործակիցը հավասար է զսպանակի k կոշտությանը: Հետևաբար՝ զսպանակավոր ճոճանակի տատանումները ներդաշնակ են, և տատանումների պարբերությունը որոշվում է (10.16) բանաձևով:

Եթե զսպանակի k կոշտությունը հայտնի է, ապա, չափելով զսպանակավոր ճոճանակի տատանումների T պարբերությունը, (10.16) հավասարությունից կարելի է որոշել մարմնի զանգվածը: T պարբերությունը կախված չէ ազատ անկման արագացումից, ուստի այն նույնը կլինի ցանկացած վայրում՝ թե՛ երկրագնդի տարբեր կետերում, թե՛ այլ մոլորակի վրա և թե՛ անկշռության պայմաններում: Ուստի զանգվածի որոշման այդ եղանակը կարող է օգտագործվել նաև անկշռելիության պայմաններում, երբ սովորական կշեռքները զանգվածը որոշելու համար պիտանի չեն:

Մաթեմատիկական ճոճանակ: Պտտման անշարժ առանցք ունեցող ցանկացած չափի և ձևի մարմինը, որը կարող է տատանվել այդ առանցքի շուրջը, կոչվում է ***ֆիզիկական ճոճանակ*** (նկ. 126): Որպեսզի պինդ մարմինը կարողանա տատանումներ կատարել, անհրաժեշտ է, որ նրա կախման կետը չհամընկնի ծանրության կենտրոնի հետ:



Նկ. 126

Այն ճոճանակը, որը կազմված է անկշիռ և չձգվող երկար թելից և նրանից կախված նյութական կետից, կոչվում է ***մաթեմատիկական ճոճանակ*** (նկ. 127): Իրական ճոճանակը կարելի է համարել մաթեմատիկական, եթե թելի երկարությունը շատ մեծ է կախված մարմնի չափերից, թելի զանգվածը շատ փոքր է մարմնի զանգվածից, իսկ թելի դեֆորմացիաներն այնքան փոքր են, որ թելի երկարությունը կարելի է համարել անփոփոխ:

Տատանողական համակարգ այս դեպքում կազմում են թելը, հենարանը (կախման կետը), մարմինը և Երկիրը, առանց որի տատանումներ չէին առաջանա:

Ճոճանակը փոքր α անկյունով շեղենք հավասարակշռության դիրքից և բաց թողնենք (նկ. 128): Դիմադրության ուժի բացակայության դեպքում շարժման ընթացքում մարմնի վրա ազդում են միայն թելի ձգվածության $\vec{N}$ և ծանրության $m\vec{g}$ ուժերը:

Ծանրության ուժը վերածենք երկու բաղադրիչների՝ $\vec{F}$ և $\vec{Q}$ այնպես, որ $\vec{F}$ ուժն ուղղված լինի շրջանագծի աղեղին տարված շոշափողով, դեպի հավասարակշռության դիրքը, իսկ $\vec{Q}$-ն՝ թելի երկայնքով ($\vec{Q}+\vec{N}$ արդյունարար ուժով պայմանավորված է մարմնի շարժման կենտրոնաձիգ արագացումը): Կոորդինատային X առանցքն ուղղենք հորիզոնական ուղղությամբ՝ O սկզբնակետը համատեղելով թելի կախման կետին (նկ. 128): Քանի որ ճոճանակի հավասարակշռության դիրքն անցնում է O կետով, ապա այդ դիրքից մարմնի շեղումը և x կոորդինատը կհամընկնեն: Ինչպես երևում է նկ. 128-ից, $sin\alpha = |x|/l$ (l-ը թելի երկարությունն է), իսկ $\vec{F}$ ուժի մոդուլը՝ $F = mgsin\alpha = mg|x|/l$: Փոքր α անկյունների դեպքում կարող ենք համարել, որ X առանցքը գրեթե զուգահեռ է շոշափողին, այնպես որ $|x| = x$, իսկ X առանցքի վրա $\vec{F}$ ուժի պրոյեկցիան՝ $F_x = -F$, երբ մարմինը գտնվում է հավասարակշռության դիրքից աջ (նկ. 128), և $|x| = -x$, $F_x = F$,

երբ մարմինը ձախ դիրքում է: Երկու դեպքում էլ՝

$$F_x = -\frac{mg}{l}x \quad : \qquad (10.26)$$

Ստացվեց, որ մարմնին հավասարակշռության դիրքը վերադարձնող ուժի պրոյեկցիան ուղիղ համեմատական է շեղմանը՝ հակառակ նշանով (համեմատականության գործակիցը՝ $k = mg/l$), հետևաբար՝ ճոճանակը կատարում է ներդաշնակ տատանումներ, որոնց պարբերությունը՝

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad : \qquad (10.27)$$

(10.27) բանաձևն առաջին անգամ ստացել և փորձով ստուգել է հոլանդացի գիտնական Ք.Հյույգենսը: Հյույգենսի բանաձևը հաստատում է մաթեմատիկական ճոճանակի տատանումների բոլոր չորս փորձառական օրենքները.

Նկ. 127

Նկ. 128

1. ***Տատանումների պարբերությունը կախված չէ զանգվածից:*** Սա ծգողության դաշտերի բնորոշ հատկություննն է, որտեղ ազատ անկման արագացումը զանգվածից կախում չունի:

2. ***Տատանումների պարբերությունը կախված չէ լայնույթից:*** Ճոճանակի այս հատկությունը (ոչ միայն մաթեմատիկական) կոչվում է իզոխրոնություն (հավասարատևություն) և հնարավորություն է տալիս կառուցելու ժամանակակից ժամացույցների մի ամբողջ շարք (ճոճանակային, զսպանակավոր, կամերտոնային և այլն):

3. ***Տատանումների պարբերությունն ուղիղ համեմատական է ճոճանակի երկարության քառակուսի արմատին:*** Հաշվի առնելով այս փաստը, համապատասխան ձևով փոխելով ճոճանակի երկարությունը՝ կարգավորում են սովորական ճոճանակային ժամացույցների (պատի և սեղանի) ընթացքը:

4. ***Տատանումների պարբերությունը հակադարձ համեմատական է ազատ անկման արագացման քառակուսի արմատին:*** Վերջին օրենքը հնարավորություն է տալիս առավել ճշգրիտ կերպով որոշելու ազատ անկման արագացումը Երկրի տարբեր կետերում և նույնիսկ փորձով հաստատել նրա կախումը մինչև Երկրի կենտրոնն ունեցած հեռավորությունից: Այդպիսի չափումներով հաջողվում է որոշել գրավիտացիոն դաշտի տեղային աղավաղումները, որոնք հաճախ կապված են օգտակար հանածոների առկայության հետ (տե՛ս § 28):

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. ***Ի՞նչն են անվանում ճոճանակ:***
2. ***Ի՞նչ է զսպանակավոր ճոճանակը:***
3. ***Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում զսպանակավոր ճոճանակի տատանումների պարբերությունը:***
4. ***Ո՞ր ճոճանակն է կոչվում մաթեմատիկական:***
5. ***Ի՞նչ պայմանների դեպքում իրական ճոճանակը կարելի է դիտել որպես մաթեմատիկական ճոճանակ:***

6. *Գրե՛ք մաթեմատիկական ճոճանակի ներդաշնակ տատանումների պարբերության Հյույգենսի բանաձևը:*

7. *Նկարագրե՛ք զսպանակավոր ճոճանակի միջոցով մարմնի զանգվածը որոշելու եղանակը:*

8. *Թվարկե՛ք մաթեմատիկական ճոճանակի չորս փորձառական օրենքները:*

§ 51. Լաբորատոր աշխատանք N8. Ազատ անկման արագացման որոշումը ճոճանակի միջոցով

Աշխատանքի նպատակը. Փորձով որոշել ազատ անկման արագացումը:

Չափամիջոցներ. 1. վայրկենաչափ, 2. չափերիզ:

Նյութեր և սարքեր. 1. անցքով կամ կեռիկով գնդիկ, 2. թել, 3. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Սեղանին դնել ամրակալանը և նրա վերևի ծայրին կցորդիչով ամրացնել թաթը՝ դրանից թելով կախելով գնդիկը: Գնդիկը պետք է կախված լինի սեղանից 1÷3 սմ բարձրության վրա, մոտ 50 սմ երկարությամբ բարակ, կոշտ թելից:

2. Չափերիզով չափել ճոճանակի երկարությունը՝ l :

3. Գնդիկը շեղել հավասարակշռության դիրքից 5÷8 սմ և բաց թողնել:

4. Չափել 40 լրիվ տատանումների ժամանակը՝ t :

5. Տատանումների պարբերությունը հաշվել $T = t/40$ բանաձևով:

6. Ազատ անկման արագացումը հաշվել մաթեմատիկական ճոճանակի տատանումների պարբերության բանաձևից՝

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}:$$

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմինը ժամանակի սկզբնական պահին անցնում է հավասարակշռության դիրքով: Գտնել այն ժամանակամիջոցների հարաբերությունը, որոնց ընթացքում մարմինն անցնում է լայնույթի առաջին և երկրորդ կեսերը:*

Լուծում: Ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի կոորդինատի կախումը ժամանակից ընդհանուր դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝ $x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$, որտեղ x_0-ն տատանումների լայնույթն է, ω-ն՝ շրջանային հաճախությունը, φ_0-ն՝ սկզբնական փուլը: Քանի որ $t = 0$ պահին մարմինն անցնում է կոորդինատների սկզբնակետով՝ $x(0) = 0$, ապա՝ $\varphi_0 = 0$:

Դիցուք՝ լայնույթի առաջին կեսը մարմինն անցնում է t_1 ժամանակում: Սա նշանակում է, որ եթե վերը նշված արտահայտության մեջ t-ի փոխարեն տեղադրենք t_1, ապա $x(t)$-ն հավասար կլինի $x_0/2$-ի՝

$$x_0/2 = x_0 \sin\omega t_1,$$

6. *Գրե՛ք մաթեմատիկական ճոճանակի ներդաշնակ տատանումների պարբերության Հյույգենսի բանաձևը:*

7. *Նկարագրե՛ք զսպանակավոր ճոճանակի միջոցով մարմնի զանգվածը որոշելու եղանակը:*

8. *Թվարկե՛ք մաթեմատիկական ճոճանակի չորս փորձառական օրենքները:*

§ 51. Լաբորատոր աշխատանք N8. Ազատ անկման արագացման որոշումը ճոճանակի միջոցով

Աշխատանքի նպատակը. Փորձով որոշել ազատ անկման արագացումը:

Չափամիջոցներ. 1. վայրկենաչափ, 2. չափերիզ:

Նյութեր և սարքեր. 1. անցքով կամ կեռիկով գնդիկ, 2. թել, 3. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Սեղանին դնել ամրակալանը և նրա վերևի ծայրին կցորդիչով ամրացնել թաթը՝ դրանից թելով կախելով գնդիկը: Գնդիկը պետք է կախված լինի սեղանից 1÷3 սմ բարձրության վրա, մոտ 50 սմ երկարությամբ բարակ, կոշտ թելից:
2. Չափերիզով չափել ճոճանակի երկարությունը՝ l :
3. Գնդիկը շեղել հավասարակշռության դիրքից 5÷8 սմ և բաց թողնել:
4. Չափել 40 լրիվ տատանումների ժամանակը՝ t :
5. Տատանումների պարբերությունը հաշվել $T = t/40$ բանաձևով:
6. Ազատ անկման արագացումը հաշվել մաթեմատիկական ճոճանակի տատանումների պարբերության բանաձևից՝

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}:$$

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմինը ժամանակի սկզբնական պահին անցնում է հավասարակշռության դիրքով: Գտնել այն ժամանակամիջոցների հարաբերությունը, որոնց ընթացքում մարմինն անցնում է լայնույթի առաջին և երկրորդ կեսերը:***

Լուծում: Ներդաշնակ տատանումներ կատարող մարմնի կոորդինատի կախումը ժամանակից ընդհանուր դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝ $x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$, որտեղ x_0-ն տատանումների լայնույթն է, ω-ն՝ շրջանային հաճախությունը, φ_0-ն՝ սկզբնական փուլը: Քանի որ $t = 0$ պահին մարմինն անցնում է կոորդինատների սկզբնակետով՝ $x(0) = 0$, ապա՝ $\varphi_0 = 0$:

Դիցուք՝ լայնույթի առաջին կեսը մարմինն անցնում է t_1 ժամանակում: Սա նշանակում է, որ եթե վերը նշված արտահայտության մեջ t-ի փոխարեն տեղադրենք t_1, ապա $x(t)$ -ն հավասար կլինի $x_0/2$ -ի՝

$$x_0/2 = x_0 \sin\omega t_1,$$

որտեղից՝ $\sin\omega t_1 = 1/2$, $\omega t_1 = \pi/6$, $t_1 = \pi/6\omega$: Հաշվի առնելով, որ $\omega = 2\pi/T$, որտեղ T-ն տատանումների պարբերությունն է, կստանանք՝ $t_1 = T/12$:

Հաշվենք հավասարակշռության դիրքից մինչև առավելագույն շեղման դիրքը հասնելու t_0 ժամանակը: Այդ դիրքում $x(t) = x_0$, ուրեմն՝ $x_0 = x_0 \sin\omega t_0$, որտեղից՝ $\sin\omega t_0 = 1$, $\omega t_0 = \pi/2$, $t_0 = T/4$. երկրորդ կեսն անցնելու ժամանակը՝ $t_2 = t_0 - t_1 = T/6$, և, հետևաբար, $t_1/t_2 = 1/2$:

2. ***Ջրում լողում է $H = 0,5$ մ բարձրությամբ սառույցե գլանաձև բեկորը: Բեկորը լրացուցիչ սուզելով փոքր x չափով ($x << H$)՝ բաց են թողնում: Որոշել նրա տատանումների պարբերությունը: Ջրի դիմադրության ուժն անտեսել:***

Լուծում: Երբ սառույցե բեկորը գտնվում է հավասարակշռության մեջ, նրա վրա ազդող ծանրության ուժը համակշռվում է ջրի կողմից ազդող արքիմեդյան ուժով՝ $mg = \rho_0 V_ը g$, որտեղ ρ_0-ն ջրի խտությունն է ($\rho_0 = 1000$ կգ/մ³), $V_ը$-ն՝ բեկորի ընկղմված մասի ծավալը հավասարակշռության դիրքում:

Երբ սառույցաբեկորը լրացուցիչ սուզվում է ջրի մեջ, նրա ընկղմված մասի ծավալը մեծանում է, ուստի մեծանում է նաև ուղղաձիգ դեպի վեր ուղղված արքիմեդյան ուժը: Արդյունքում բեկորի վրա ազդող արդյունարար ուժն ուղղված է լինում դեպի հավասարակշռության դիրքը և բեկորին ստիպում է վեր բարձրանալ:

Երբ բեկորը հավասարակշռության դիրքից վեր է բարձրանում, նրա ընկղմված մասի ծավալը փոքրանում է, ուստի փոքրանում է նաև արքիմեդյան ուժը: Այս դեպքում մոդուլով ավելի մեծ է լինում ծանրության ուժը, որի հետևանքով բեկորի վրա ազդող համազոր ուժն ուղղված է լինում դեպի ներքև: Այսպիսով՝ հավասարակշռության դիրքից բեկորը շեղելուց և ազատ թողնելուց հետո նրա վրա ազդող ուժերի համազորն ուղղված է դեպի հավասարակշռության դիրքը:

Հաշվենք վերադարձնող ուժը, երբ բեկորը լրացուցիչ սուզվում է x չափով: Այդ դեպքում սառույցի ընկղմված մասի ծավալը մեծանում է xS-ով, որտեղ S-ը գլանի հիմքի մակերեսն է: Ուստի բեկորի վրա ազդող ուժի պրոյեկցիան x առանցքի վրա հավասար է՝ $F_x = mg - F'_Ա = mg - \rho_0(V_ը + Sx)g = mg - \rho_0 V_ը g v - \rho_0 g S x$:

Հաշվի առնելով վերը նշված հավասարակշռության պայմանը՝ կստանանք, որ $F_x = -\rho_0 S g x = -kx$, որտեղ $k = \rho_0 S g$: Օգտվելով տատանումների պարբերության (10.16) բանաձևից և նրանում տեղադրելով բեկորի զանգվածը՝ $m = \rho S H$, որտեղ ρ-ն սառույցի խտությունն է ($\rho = 900$ կգ/մ³), կստանանք՝ $T = 2\pi\sqrt{\rho H/\rho_0 g} = 1,3$ վ:

Խնդիրներ

1. *Լարի մի կետի չմարող տատանումների լայնույթը 1մմ է, հաճախությունը՝ 1կՀց: Ի՞նչ ճանապարհ կանցնի այդ կետը 0,2վ-ում:*

2. *Ճոճանակը 1ր 40վ-ում կատարեց 50 տատանում: Գտե՛ք տատանումների պարբերությունը, հաճախությունը և շրջանային հաճախությունը:*

3. *Շարժման հավասարումն ունի $x = 0,06\cos 100\pi t$ տեսքը: Ինչպե՞ս են տատանումների լայնույթը, հաճախությունը և պարբերությունը:*

4. *Քանի՞ անգամ փոխվեց տատանվող ճոճանակի լրիվ մեխանիկական էներգիան, եթե նրա երկարությունը փոքրացավ 3 անգամ, իսկ լայնույթը մեծացավ 2 անգամ:*

5. 80 կգ զանգված ունեցող մարդը ճոճվում է ճոճքով: Նրա տատանման լայնույթը 1 մ է: 1ր-ի ընթացքում նա կատարում է 15 տատանում: Գտե՛ք կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները 1/12 պարբերությունից հետո:

6. 1 կՆ/մ կոշտություն ունեցող զսպանակից կախված բեռը տատանվում է 2 սմ լայնույթով: Գտե՛ք կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաները π/3 ռադ փուլում:

7. Զսպանակավոր ճոճանակը հանեցին հավասարակշռությունից և բաց թողեցին: Ինչքա՞ն ժամանակից հետո (պարբերության մասերով) տատանվող մարմնի կինետիկ էներգիան հավասար կլինի զսպանակի պոտենցիալ էներգիային:

ԳԼՈՒԽ 10-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ազատ տատանումները համակարգում առաջանում են ներքին ուժերի ազդեցությամբ, երբ համակարգը դուրս է բերվում հավասարակշռության դիրքից:

2. Հարկադրական տատանումներն առաջանում են, երբ համակարգի վրա ազդում է արտաքին պարբերական ուժ:

3. Ներդաշնակ տատանումների հավասարումն ունի $x'' + \omega^2 x = 0$ տեսքը, որտեղ x-ը մարմնի շեղումն է հավասարակշռության դիրքից, x''-ը՝ կոորդինատի երկրորդ ածանցյալը (արագացումը), իսկ ω^2-ն հաստատուն է, որը կախված է համակարգի հատկություններից: Այդ հավասարման լուծումն արտահայտվում է ներդաշնակ ֆունկցիայի միջոցով՝

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0),$$

որտեղ x_0-ն առավելագույն շեղման մոդուլն է հավասարակշռության դիրքից և կոչվում է տատանումների լայնույթ: $\omega t + \varphi_0$ մեծությունը որոշում է տատանվող մարմնի դիրքը ժամանակի ցանկացած պահին և կոչվում է տատանումների փուլ: ω մեծությունը կոչվում է տատանումների շրջանային հաճախություն և կապված է պարբերության և հաճախության հետ $\omega = 2\pi / T$ և $\omega = 2\pi\nu$ բանաձևերով:

4. Ներդաշնակ տատանումների շրջանային հաճախությունը կախված է տատանվող մարմնի զանգվածից և քվազիկոշտությունից: Մաթեմատիկական ճոճանակի քվազիկոշտությունն ուղիղ համեմատական է մարմնի զանգվածին, ուստի նրա պարբերությունը կախված չէ մարմնի զանգվածից և որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,:$$

5. Տատանվող մարմնի լրիվ էներգիան շփման ուժերի բացակայության դեպքում մնում է անփոփոխ.

$$W = \frac{kx_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}\,:$$

11 ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐ



§ 52. Մեխանիկական ալիքներ: Ալիքի երկարության, տարածման արագության և հաճախության կապը

Մենք ուսումնասիրեցինք այն մեխանիկական տատանումները, որոնք տեղի են ունենում մեկուսացված տատանողական համակարգերում: Բնության մեջ և տեխնիկայում շատ հաճախ հանդիպում ենք տատանողական համակարգերի, որոնք փոխազդում են միմյանց հետ: Այդ դեպքում մի համակարգում ծագած տատանումները փոխանցվում են մյուս համակարգին, այսինքն՝ երկրորդում ևս առաջ են գալիս տատանումներ: Որպեսզի հասկանանք, թե ինչպես է դա տեղի ունենում, դիտարկենք X առանցքի երկայնքով դասավորված միատեսակ մաթեմատիկական ճոճանակներից կազմված շղթա, որոնց գնդիկներն իրար հետ կապված են փոքրիկ, թեթև զսպանակներով (նկ. 129,*ա*):

Ձախ եզրային գնդիկին ստիպենք տատանվել (ձեռքով կամ ինչ-որ մեխանիզմի միջոցով) Y առանցքի երկայնքով այնպես, որ նրա y կոորդինատը (շեղումը հավասարակշռության դիրքից), ժամանակից կախված, փոխվի ներդաշնակորեն.

$$y_1 = y_0 \sin \omega t , \qquad (11.1)$$

որտեղ y_0-ն տատանման լայնույթն է, ω-ն՝ տատանման շրջանային հաճախությունը:

Հենց որ 1 գնդիկը սկսում է շեղվել հավասարակշռության դիրքից, նրան ամրացված զսպանակը դեֆորմացվում է, և երկրորդ գնդիկի վրա սկսում է ուժ ազդել՝ ստիպելով նրան շեղվել դեպի նույն կողմը, որ կողմը որ շեղվել է 1 գնդիկը: 2 գնդիկի շարժումը, որը 1 գնդիկի շարժման կրկնությունն է, իներտության հետևանքով ուշանում է ըստ փուլի որոշ t_2 ժամանակով: 3 գնդիկը սկսում է տատանվել 2 գնդիկի շարժումից առաջացած առաձգականության ուժի ազդեցությամբ՝ ըստ փուլի էլ ավելի հետ մնալով, և այսպես շարունակ: Ի վերջո, բոլոր գնդիկները կսկսեն կատարել հարկադրական տատանումներ միևնույն հաճախությամբ, բայց տարբեր փուլերով (նկ. 129,*բ*): Եթե x կոորդինատով կետում գտնվող գնդիկը սկսում է տատանվել առաջին գնդիկի տատանումներն սկսվելուց t_x ժամանակ հետո, ապա նրա տատանման օրենքը կարտահայտվի հետևյալ հավասարմամբ՝

$$y = y_0 \sin(\omega(t - t_x)) : \qquad (11.2)$$

Տեսնում ենք, որ 1 գնդիկի տատանումները, շնորհիվ գնդիկներն իրար կապող զսպանակների, աստիճանաբար փոխանցվում են հարևան գնդիկներին, այսինքն՝ տարածվում են X առանցքի երկայնքով:

Ձախ եզրային գնդիկի տատանումները կփոխանցվեն մյուս գնդիկներին նաև այն դեպքում, երբ նրա տատանումները տեղի ունենան X առանցքի երկայնքով: Այս դեպքում, երբ նրա տատանումները տեղի ունենան X առանցքի երկայնքով:

11 ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐ



§ 52. Մեխանիկական ալիքներ: Ալիքի երկարության, տարածման արագության և հաճախության կապը

Մենք ուսումնասիրեցինք այն մեխանիկական տատանումները, որոնք տեղի են ունենում մեկուսացված տատանողական համակարգերում: Բնության մեջ և տեխնիկայում շատ հաճախ հանդիպում ենք տատանողական համակարգերի, որոնք փոխազդում են միմյանց հետ: Այդ դեպքում մի համակարգում ծագած տատանումները փոխանցվում են մյուս համակարգին, այսինքն՝ երկրորդում ևս առաջ են գալիս տատանումներ: Որպեսզի հասկանանք, թե ինչպես է դա տեղի ունենում, դիտարկենք X առանցքի երկայնքով դասավորված միատեսակ մաթեմատիկական ճոճանակներից կազմված շղթա, որոնց գնդիկներն իրար հետ կապված են փոքրիկ, թեթև զսպանակներով (նկ. 129,*ա*):

Ձախ եզրային գնդիկին ստիպենք տատանվել (ձեռքով կամ ինչ-որ մեխանիզմի միջոցով) Y առանցքի երկայնքով այնպես, որ նրա y կոորդինատը (շեղումը հավասարակշռության դիրքից), ժամանակից կախված, փոխվի ներդաշնակորեն.

$$y_1 = y_0 \sin\omega t \quad , \tag{11.1}$$

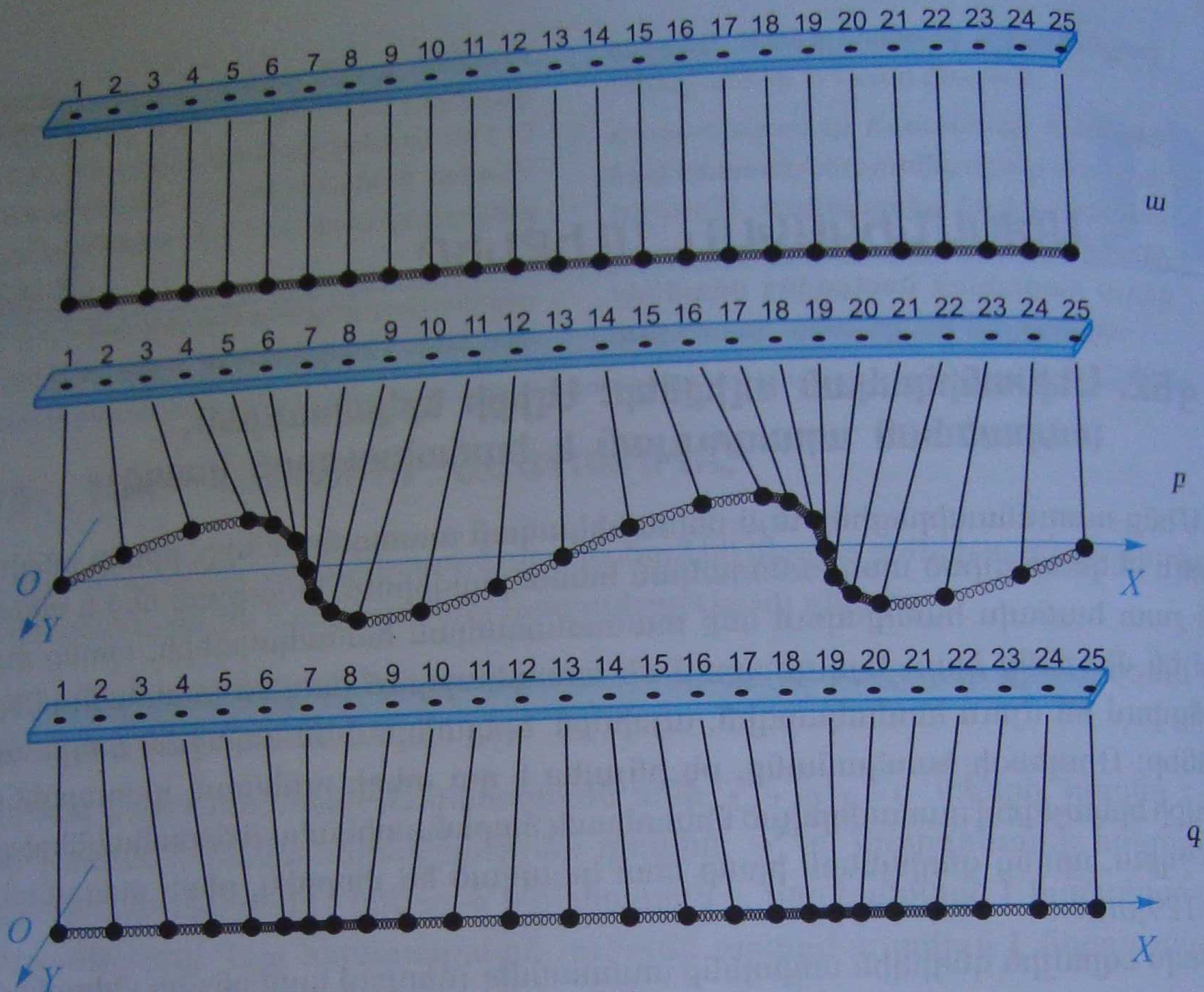
որտեղ y_0-ն տատանման լայնույթն է, ω-ն՝ տատանման շրջանային հաճախությունը:

Հենց որ 1 գնդիկը սկսում է շեղվել հավասարակշռության դիրքից, նրան ամրացված զսպանակը դեֆորմացվում է, և երկրորդ գնդիկի վրա սկսում է ուժ ազդել՝ ստիպելով նրան շեղվել դեպի նույն կողմը, որ կողմը որ շեղվել է 1 գնդիկը: 2 գնդիկի շարժումը, որը 1 գնդիկի շարժման կրկնությունն է, իներտության հետևանքով ուշանում է ըստ փուլի որոշ t_2 ժամանակով: 3 գնդիկը սկսում է տատանվել 2 գնդիկի շարժումից առաջացած առաձգականության ուժի ազդեցությամբ՝ ըստ փուլի էլ ավելի հետ մնալով, և այսպես շարունակ: Ի վերջո, բոլոր գնդիկները կսկսեն կատարել հարկադրական տատանումներ միևնույն հաճախությամբ, բայց տարբեր փուլերով (նկ. 129,*բ*): Եթե x կոորդինատով կետում գտնվող գնդիկը սկսում է տատանվել առաջին գնդիկի տատանումներն սկսվելուց t_x ժամանակ հետո, ապա նրա տատանման օրենքը կարտահայտվի հետևյալ հավասարմամբ՝

$$y = y_0 \sin(\omega(t - t_x)) : \tag{11.2}$$

Տեսնում ենք, որ 1 գնդիկի տատանումները, շնորհիվ գնդիկներն իրար կապող զսպանակների, աստիճանաբար փոխանցվում են հարևան գնդիկներին, այսինքն՝ տարածվում են X առանցքի երկայնքով:

Ձախ եզրային գնդիկի տատանումները կփոխանցվեն մյուս գնդիկներին նաև այն դեպքում, երբ նրա տատանումները տեղի ունենան X առանցքի երկայնքով: Այս դեպ-



Նկ. 129

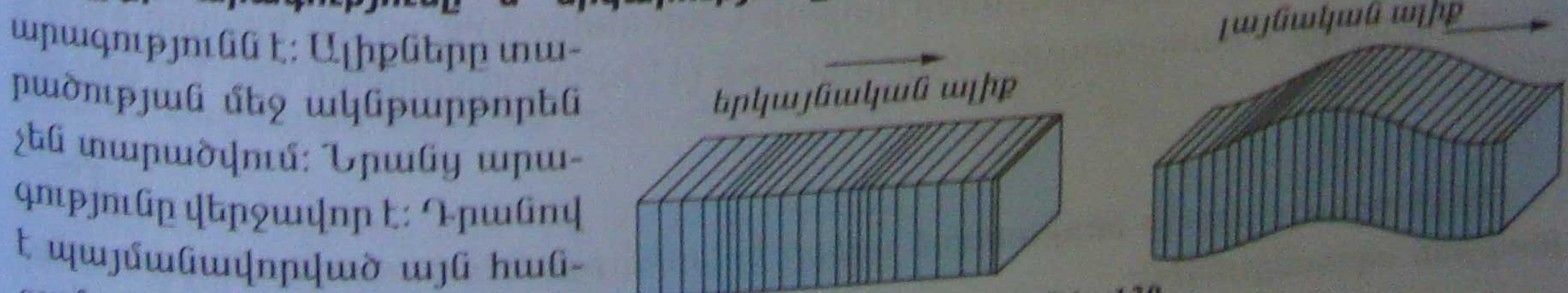
քում գնդիկներից յուրաքանչյուրը տատանվում է հավասարակշռության դիրքի շուրջը՝ շղթայում առաջացնելով գնդիկների խտացումներ և նոսրացումներ (նկ. 129,գ):

Նման ձևով են տարածվում առաձգական միջավայրի որևէ կետում առաջացած տատանումները: Միջավայրը (գազային, հեղուկ կամ պինդ) կոչվում է առաձգական, եթե այդ միջավայրի մասնիկները փոխազդում են այնպիսի ուժերով, որոնք խոչընդոտում են այդ միջավայրի դեֆորմացիաներին: Երբ որևէ մարմին տատանվում է առաձգական միջավայրում, ապա այն, ազդելով միջավայրի՝ իրեն հարակից մասնիկների վրա, ստիպում է նրանց տատանվել՝ կատարել հարկադրական տատանումներ: Այդ դեպքում տատանվող մարմնին հարող միջավայրը դեֆորմացվում է, և նրանում ծագում են առաձգականության ուժեր: Այդ ուժերը տատանման մեջ են դնում միջավայրի նոր մասնիկների, որոնք գտնվում են տատանվող մարմնից ավելի հեռու: Այսպիսով՝ տատանվող մարմնից տատանողական պրոցեսը, մի մասնիկից մյուսին փոխանցվելով, աստիճանաբար տարածվում է միջավայրում:

Տատանումների տարածումը տարածության մեջ ժամանակի ընթացքում անվանում են ալիքային շարժում կամ պարզապես ալիք:

Մեզանից յուրաքանչյուրը տեսած կլինի, թե ինչպես լճակի հանդարտ մակերևույթին նետված քարից օղակներով դես ու դեն են վազում ալիքներ, շատերը հետևած կլինեն դեպի ափ վազող ծովային ալիքներին:

Ալիքային շարժման գլխավոր առանձնահատկությունն առավել պատկերավոր կարելի է տեսնել ջրի մակերևույթին տարածվող ալիքների օրինակով: Եթե ալեկոծված ջրի մակերևույթին նետվի թեթև առարկա, օրինակ՝ լուցկու տուփ, ապա այն ալիքի տարածման ուղղությամբ չի տեղափոխվի, այլ կսկսի շարժվել վերև-ներքև՝ մնալով գրեթե



ճույն տեղում: Ալիքի տարածման ժամանակ կատարվում է տատանվող միջավայրի վիճակի, բայց ոչ` նյութի տեղափոխում: Օրինակ` նետած քարից անկման տեղում ծագած ջրի տատանումները հաղորդվում են հարևան տեղամասերին և աստիճանաբար տարածվում են բոլոր կողմերը` տատանողական շարժման մեջ ներգրավելով միջավայրի նորանոր մասնիկների:

Տատանումների փոխանցման հետ կապված է էներգիայի փոխանցումը, քանի որ յուրաքանչյուր նոր տատանվող մասնիկ ծնոր է բերում տատանողական շարժման էներգիա: ***Ալիքային շարժման պրոցեսում միջավայրում տեղի է ունենում էներգիայի տեղափոխություն` առանց նյութի տեղափոխության:***

Ցանկացած մեխանիկական ալիքում միաժամանակ տեղի է ունենում երկու տեսակի շարժում` միջավայրի մասնիկների տատանողական շարժում իրենց հավասարակշռության դիրքերի շուրջը և տատանումների տարածում:

Նկ. 129,բ -ում պատկերված գնդիկների շղթայում առանձին գնդիկների տատանումները տեղի են ունենում շղթային ուղղահայաց ուղղությամբ, իսկ ալիքը տարածվում է շղթայի երկայնքով: Ջրի մակերևույթին առաջացած ալիքներում ջրի մասնիկները տատանվում են ուղղաձիգ ուղղությամբ, իսկ ալիքները տարածվում են հորիզոնական ուղղությամբ: Այդպիսի ալիքները կոչվում են *լայնական*:

Լայնական են կոչվում այն ալիքները, որոնց տարածման ուղղությունն ուղղահայաց է միջավայրի մասնիկների տատանման ուղղությանը:

Նկ. 129,գ -ում պատկերված գնդիկների շղթայում գնդիկների տատանումների ուղղությունը համընկնում է ալիքի տարածման ուղղության հետ: Այդպիսի ալիքները կոչվում են ***երկայնական***:

Երկայնական են կոչվում այն ալիքները, որոնց տարածման ուղղությունը համընկնում է միջավայրի մասնիկների տատանումների ուղղությանը:

Ինչպես նշեցինք, միջավայրում մեխանիկական ալիքներն առաջանում են առաձգականության ուժերի շնորհիվ: Երկայնական ալիքների տարածման ժամանակ տեղի են ունենում միջավայրի խտացումներ և նոսրացումներ, իսկ լայնական ալիքների տարածման ժամանակ` միջավայրի շերտերի սահք միմյանց նկատմամբ (նկ. 130): Սեղմման և ձգման դեֆորմացիաների դեպքում միշտ առաջանում են առաձգականության ուժեր, իսկ սահքի դեֆորմացիաներն առաջ են բերում առաձգականության ուժեր միայն պինդ մարմիններում (տե՛ս գլ. 18): Հեղուկներում և գազերում շերտերի սահքի դեպքում առաձգականության ուժեր չեն առաջանում: Ուստի երկայնական ալիքները կարող են տարածվել ***բոլոր միջավայրերում*** (և՛ պինդ մարմիններում, և՛ հեղուկներում, և՛ գազերում), իսկ լայնական ալիքները` միայն պինդ մարմիններում (ջրի մակերևույթին լայնական ալիքների առաջացման գործում դեր են խաղում ծանրության և մակերևութային լարվածության ուժերը):

Ալիքի արագությունը և երկարությունը: Ալիքի կարևորագույն բնութագիրը նրա արագությունն է: Ալիքները տարածության մեջ ակնթարթորեն չեն տարածվում: Նրանց արագությունը վերջավոր է: Դրանով է պայմանավորված այն հանգամանքը, որ կոորդինատների

Նկ. 130

սկզբնակետից x հեռավորության վրա գտնվող գնդիկը տատանումներն սկսում է ուշացումով՝ առաջին գնդիկի (ալիքի աղբյուրի) տատանումները սկսվելուց որոշ t_x ժամանակ հետո: t_x-ը փաստորեն այն ժամանակն է, որի ընթացքում ալիքը կոորդինատների սկզբնակետից հասնում է x կոորդինատով կետը: Ուրեմն, եթե ալիքի տարածման արագությունը նշանակենք υ-ով, ապա կարող ենք գրել՝

$$\upsilon = \frac{x}{t_x} : \qquad (11.3)$$

(11.2) արտահայտության մեջ տեղադրելով t_x-ի արժեքը (11.3) հավասարումից՝ կստանանք կոորդինատների սկզբնակետից x հեռավորության վրա գտնվող մասնիկի տատանումների օրենքը՝

$$y = y_0 \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)\right) = y_0 \sin\left(\omega t - 2\pi\frac{x}{\upsilon T}\right) , \qquad (11.4)$$

որտեղ T-ն գնդիկների տատանումների պարբերությունն է: (11.4) հավասարումն արտահայտում է x կոորդինատով գնդիկի՝ հավասարակշռության դիրքից y շեղման կախումը ժամանակից: Այն հաճախ անվանում են ***ալիքի հավասարում*** :

Ալիքի (11.4) հավասարումից երևում է, որ միջավայրի յուրաքանչյուր կետի տատանման փուլի (սինուս ֆունկցիայի արգումենտի) արժեքը կախված է ալիքի աղբյուրից ունեցած հեռավորությունից: Ակնհայտ է, որ եթե որևէ երկու կետերի տատանման փուլերի տարբերությունը $2\pi k$ է, որտեղ k-ն ամբողջ թիվ է, ապա հավասարակշռության դիրքից նրանց շեղումները ժամանակի ցանկացած պահին իրար հավասար են, և այդ կետերը տատանվում են համաձայնեցված: Այս իմաստով կարելի է ասել, որ այդ տատանումները կատարվում են նույն փուլում: Մասնավորապես, ինչպես երևում է (11.4) հավասարումից, ալիքի աղբյուրի տատանումների հետ համաձայնեցված տատանումներ են կատարում այն մասնիկները, որոնց x_k կոորդինատի հարաբերությունը υT-ին ամբողջ թիվ է.

$$\frac{x_k}{\upsilon T} = k : \qquad (11.5)$$

Միևնույն փուլում տատանվող ամենամոտ կետերի միջև հեռավորությունը կոչվում է ալիքի երկարություն: Այն սովորաբար նշանակում են λ տառով: Սահմանումից հետևում է, որ՝

$$\lambda = x_{k+1} - x_k = (k+1)\upsilon T - k\upsilon T = \upsilon T : \qquad (11.6)$$

Այսպիսով՝ ***ալիքի երկարությունը հավասար է նրա արագության և աղբյուրի տատանման պարբերության արտադրյալին***, այսինքն՝ ***մեկ լրիվ տատանման ընթացքում ալիքի տարածման հեռավորությանը:***

Ալիքի տարածման արագությունը կարելի է արտահայտել ալիքի երկարության և տատանումների ν հաճախության միջոցով, եթե (11.6) հավասարման մեջ T-ն փոխարինենք $1/\nu$-ով.

$$\upsilon = \lambda\nu : \qquad (11.7)$$

Ալիքի արագությունը հավասար է ալիքի երկարության և տատանումների հաճախության արտադրյալին:

Միջավայրում ալիքի տարածման ընթացքում դրսևորվում է երկու տեսակի պարբերականություն:

Նախ՝ միջավայրի յուրաքանչյուր մասնիկ պարբերական տատանումներ է կատարում ժամանակի ընթացքում: Ներդաշնակ տատանումների դեպքում տատանումների հաճախությունը և լայնույթը միատեսակ են բոլոր կետերում: Տատանումները տարբերվում են միայն փուլերով:

Երկրորդ՝ ժամանակի տվյալ պահին ալիքի տեսքը տարածության մեջ կրկնվում է ալիքի տարածման ուղղությամբ λ երկարությամբ հատվածներից հետո:

Ալիքի տարածման արագության, ալիքի երկարության և տատանումների հաճախության կապն արտահայտող (11.7) բանաձևը ճիշտ է նաև երկայնական ալիքի համար:

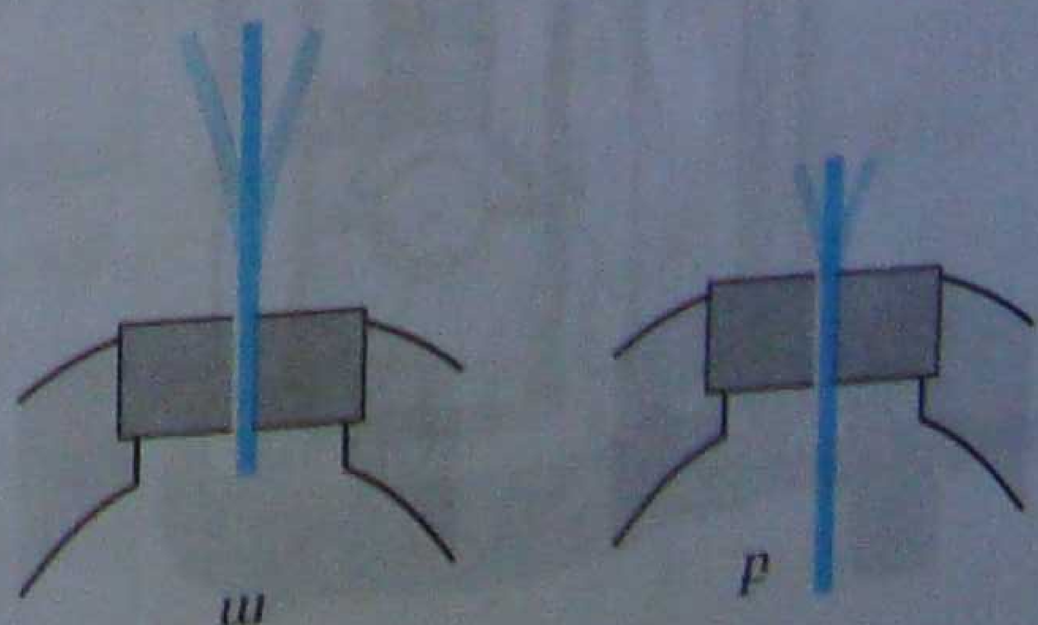
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ի՞նչն են անվանում ալիք:
2. Ո՞ր միջավայրերում են տարածվում մեխանիկական ալիքները:
3. Ո՞րն է ալիքային շարժման հիմնական հատկությունը:
4. Ո՞ր ալիքն է կոչվում լայնական:
5. Ո՞ր ալիքն է կոչվում երկայնական:
6. Գրե՛ք ալիքի հավասարումը:
7. Ի՞նչն են անվանում ալիքի երկարություն:
8. Գրե՛ք ալիքի տարածման արագության, ալիքի երկարության և պարբերության կապն արտահայտող բանաձևը:

§ 53. Ձայնային ալիքներ: Ձայնի տարածման արագություն, ուժգնություն և բարձրություն

Ձայնային ալիքներ: Ջրի մակերևույթին տարածվող ալիքները կարելի է անմիջականորեն տեսնել: Իսկ օդում, հեղուկի ներսում և պինդ մարմիններում ալիքներն անտեսանելի են: Բայց որոշակի պայմաններում դրանք կարելի է լսել: Եթե երկար պողպատե քանոնը սեղմենք մամլակի մեջ կամ պինդ սեղմենք սեղանի եզրին, ապա, քանոնի ծայրը շեղելով հավասարակշռության դիրքից, մենք նրան տատանումների մեջ կդնենք (նկ. 131,*ա*): Բայց այդ տատանումները մեր ականջը չի ընկալի: Սակայն, եթե քանոնի դուրս եկած ծայրը կարճացվի (նկ. 131,*բ*), պապա քանոնը կսկսի հնչել: Քանոնը սեղմում է իր կողմերից մեկին հարող օդի շերտը և միաժամանակ ստեղծում նոսրացում իր մյուս կողմում: Այդ խտացումներն ու նոսրացումները ժամանակի ընթացքում հաջորդում են իրար և տարածվում առաձգական երկայնական ալիքի տեսքով: Այդ ալիքը հասնում է մեր ականջին և նրա մոտակայքում առաջացնում ճնշման պարբերական տատանումներ, որոնք ազդում են լսողության օրգանի վրա:

Այն առաձգական ալիքները, որոնք մարդու մոտ առաջացնում են ձայնի զգայողություն, կոչվում են ***ձայնային ալիքներ*** կամ պարզապես ***ձայն:***



Նկ. 131

Մեր ականջը որպես ձայն ընկալում է 16÷20 Հց-ից մինչև 20000 Հց հաճախություններով տատանումները: Այդպիսի տատանումները

Միջավայրում ալիքի տարածման ընթացքում դրսևորվում է երկու տեսակի պարբերականություն:

Նախ՝ միջավայրի յուրաքանչյուր մասնիկ պարբերական տատանումներ է կատարում ժամանակի ընթացքում: Ներդաշնակ տատանումների դեպքում տատանումների հաճախությունը և լայնույթը միատեսակ են բոլոր կետերում: Տատանումները տարբերվում են միայն փուլերով:

Երկրորդ՝ ժամանակի տվյալ պահին ալիքի տեսքը տարածության մեջ կրկնվում է ալիքի տարածման ուղղությամբ λ երկարությամբ հատվածներից հետո:

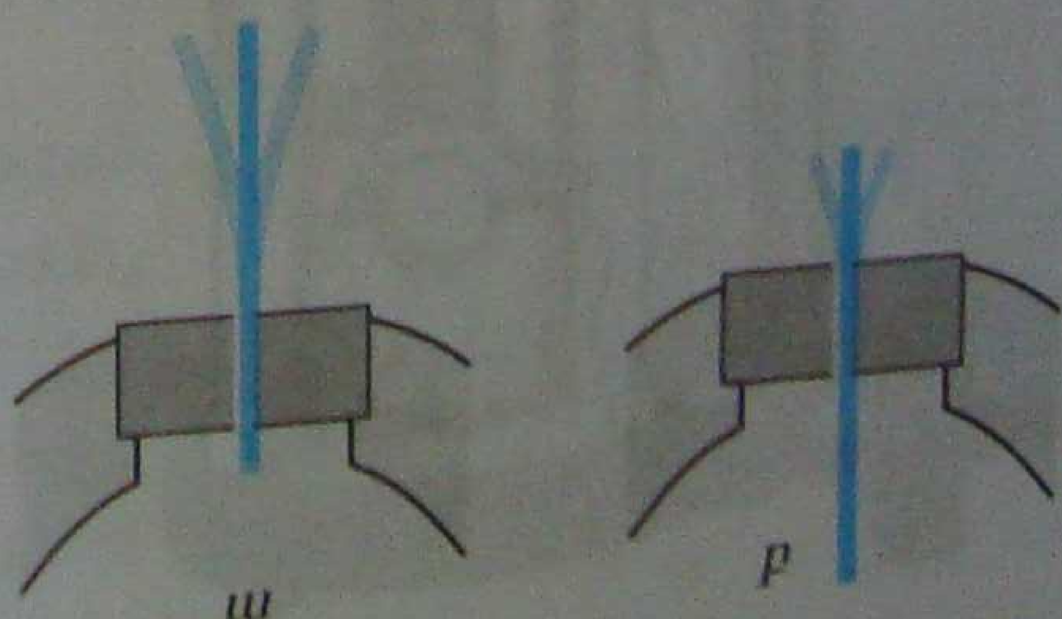
Ալիքի տարածման արագության, ալիքի երկարության և տատանումների հաճախության կապն արտահայտող (11.7) բանաձևը ճիշտ է նաև երկայնական ալիքի համար:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում ալիք:*
2. *Ո՞ր միջավայրերում են տարածվում մեխանիկական ալիքները:*
3. *Ո՞րն է ալիքային շարժման հիմնական հատկությունը:*
4. *Ո՞ր ալիքն է կոչվում լայնական:*
5. *Ո՞ր ալիքն է կոչվում երկայնական:*
6. *Գրե՛ք ալիքի հավասարումը:*
7. *Ի՞նչն են անվանում ալիքի երկարություն:*
8. *Գրե՛ք ալիքի տարածման արագության, ալիքի երկարության և պարբերության կապն արտահայտող բանաձևը:*

§ 53. Ձայնային ալիքներ: Ձայնի տարածման արագություն, ուժգնություն և բարձրություն

Ձայնային ալիքներ: Ջրի մակերևույթին տարածվող ալիքները կարելի է անմիջականորեն տեսնել: Իսկ օդում, հեղուկի ներսում և պինդ մարմիններում ալիքներն անտեսանելի են: Բայց որոշակի պայմաններում դրանք կարելի է լսել: Եթե երկար պողպատե քանոնը սեղմենք մամլակի մեջ կամ պինդ սեղմենք սեղանի եզրին, ապա, քանոնի ծայրը շեղելով հավասարակշռության դիրքից, մենք նրան տատանումների մեջ կդնենք (նկ. 131,*ա*): Բայց այդ տատանումները մեր ականջը չի ընկալի: Սակայն, եթե քանոնի դուրս եկած ծայրը կարճացվի (նկ. 131,*բ*), ապա քանոնը կսկսի հնչել: Քանոնը սեղմում է իր կողմերից մեկին հարող օդի շերտը և միաժամանակ ստեղծում նոսրացում իր մյուս կողմում: Այդ խտացումներն ու նոսրացումները ժամանակի ընթացքում հաջորդում են իրար և տարածվում առաձգական երկայնական ալիքի տեսքով: Այդ ալիքը հասնում է մեր ականջին և նրա մոտակայքում առաջացնում ճնշման պարբերական տատանումներ, որոնք ազդում են լսողության օրգանի վրա:



Նկ. 131

Այն առաձգական ալիքները, որոնք մարդու մոտ առաջացնում են ձայնի զգայողություն, կոչվում են ***ձայնային ալիքներ*** կամ պարզապես ***ձայն***:

Մեր ականջը որպես ձայն ընկալում է 16÷20 Հց-ից մինչև 20000 Հց հաճախություններով տատանումները: Այդպիսի տատանումները

կոչվում են ***ձայնային տատանումներ***: Լսողության շեմի տարբերությունները (16÷20 Հց) պայմանավորված են տարբեր մարդկանց ականջների կառուցվածքային առանձնահատկություններով: Լսողության վերին սահմանը` 20000 Հց, նույնպես մոտավոր է:

Կան կենդանիներ, որոնք լսում են շատ ավելի լայն տիրույթի ձայներ: Օրինակ` շունը և ձին լսում են մինչև 50000 Հց հաճախությամբ ձայներ: 16 Հց-ից փոքր և 20000 Հց-ից մեծ հաճախության ալիքները մարդու կողմից որպես ձայն չեն ընկալվում: 16 Հց-ից ցածր հաճախության առաձգական ալիքներն անվանում են ***ինֆրաձայն***, իսկ 20000 Հց-ից բարձրը` ***ուլտրաձայն***: Ձայնային հաճախությամբ տատանվող յուրաքանչյուր մարմին (պինդ, հեղուկ կամ գազային) շրջապատող միջավայրում առաջացնում է ձայնային ալիք:

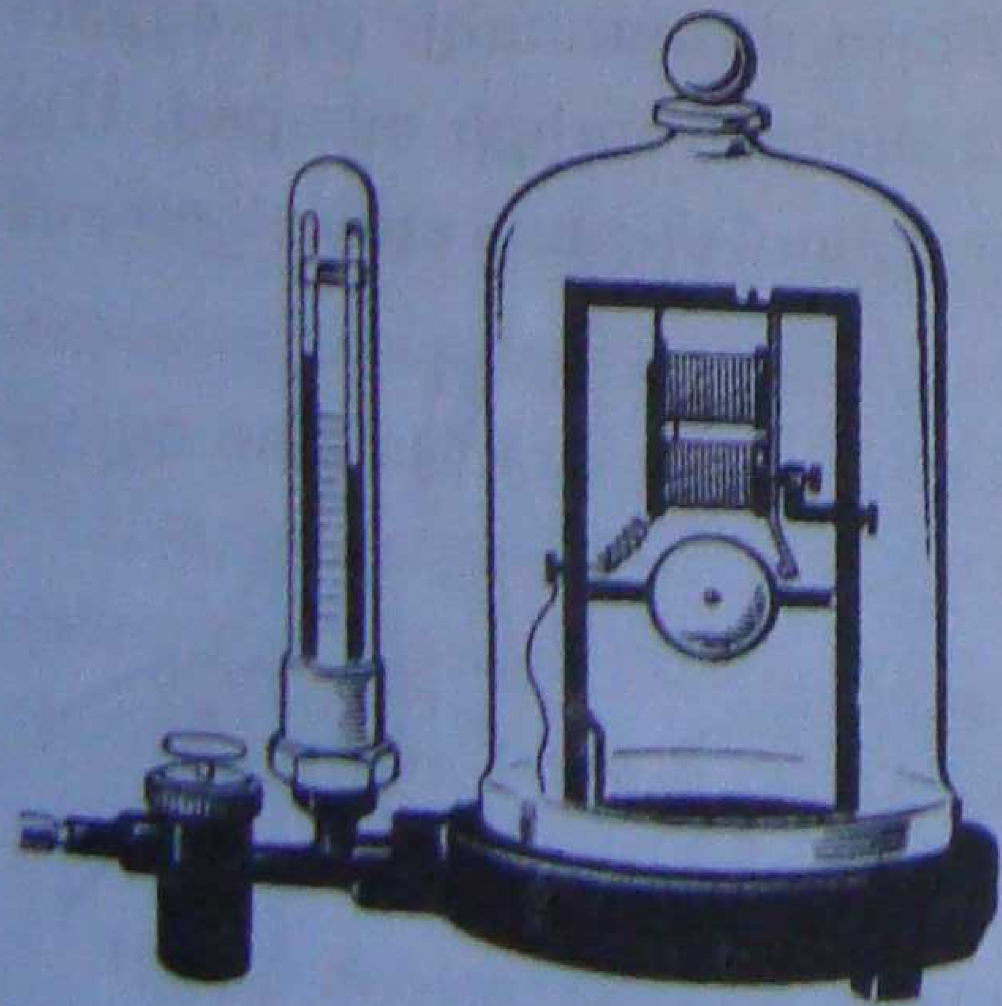
Ձայնային ալիքները մեր ականջին են հասնում ամենից հաճախ օդի միջով: Ձայնը տարածվում է նաև ջրում և պինդ մարմիններում: Սուզվելով ջրի մեջ` դուք կարող եք լսել մեծ հեռավորության վրա ջրի մեջ երկու քարերի հարվածից առաջացած ձայնը:

Եթե փայտե երկար քանոնի ծայրը կիպ մոտեցնենք ձեր ականջին և գրիչով մյուս ծայրին թեթևակի հարվածենք, ապա հստակորեն կլսեք հարվածի ձայնը: Քանոնը հեռացնելով ականջից` դուք հարվածի ձայնն այլևս չեք լսի:

Վակուումում ձայնային ալիքները չեն կարող տարածվել: Դրանում համոզվելու համար կարելի է էլեկտրական զանգը տեղավորել օդահան պոմպի զանգի տակ (նկ. 132): Զանգի տակ օդի ճնշման փոքրացմանը զուգընթաց ձայնը թուլանում է մինչև ամբողջությամբ մարելը:

Ձայնը վատ են հաղորդում այնպիսի նյութեր, ինչպիսիք են` բաղիքը, ծակոտկեն պանելները, մամլած խցանը և այլն: Այդ նյութերն օգտագործում են ձայնամեկուսացման համար` շենքերը կողմնակի ձայներ թափանցելուց պաշտպանելու համար:

Ձայնի տարածման արագություն: Ձայնային ալիքները, մնացած բոլոր ալիքների նման, տարածվում են վերջավոր արագությամբ: Այդ պատճառով է, որ ամպրոպի որոտը լսվում է կայծակի փայլատակումից մի քանի տասնյակ վայրկյան հետո (լույսը երևում է ակնթարթորեն, որովհետև տարածվում է հսկայական` 300000 կմ/վ արագությամբ): Ձայնի արագության վերջավոր լինելու պատճառով առաջանում է արձագանք, որը տարբեր արգելքներից (անտառեզրից, զառիվեր ափից, շենքից և այլն) անդրադարձած ձայնային ալիք է:



Նկ. 132

Ձայնի տարածման արագությունն օդում 0°C-ում մոտավորապես 331 մ/վ է:

Ձայնի տարածման արագությունն օդում գործնականորեն կախված չէ օդի խտությունից: Այն մոտ է մոլեկուլների ջերմային շարժման միջին արագությանը և համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանի քառակուսի արմատին: Որքան մեծ է գազի մոլեկուլների զանգվածը, այնքան փոքր է ձայնի արագությունը: Այսպես, 0°C-ում ձայնի տարածման արագությունը ջրածնում 1270 մ/վ է, իսկ ածխաթթու գազում` 258 մ/վ:

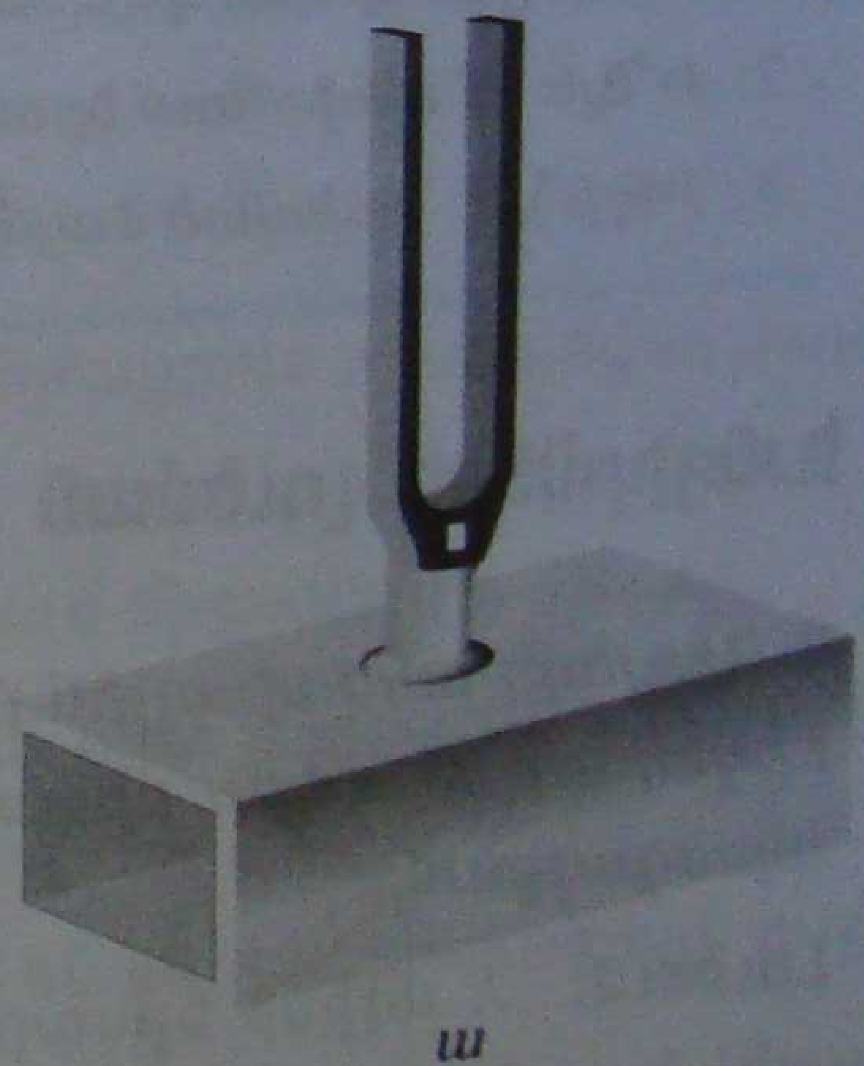
Ջրում ձայնի տարածման արագությունը մի քանի անգամ ավելի մեծ է, քան օդում: Այսպես, 8°C -ում այն 1435 մ/վ է:

Որպես կանոն, պինդ մարմիններում ձայնի տարածման արագությունն էլ ավելի մեծ է, քան հեղուկներում: Օրինակ՝ պողպատում ձայնի արագությունը 15°C-ում 4980 մ/վ է: Որ ձայնի արագությունը պինդ մարմնում ավելի մեծ է, քան օդում, կարելի է հայտնաբերել այսպես: Եթե ձեր ընկերը հարվածի ռելսի մի ծայրին, իսկ դուք ականջը դնեք մյուս ծայրին, ապա կլսեք երկու հարվածի ձայն: Սկզբում ձայնը ձեր ականջին է հասնում ռելսով, իսկ հետո՝ օդով:

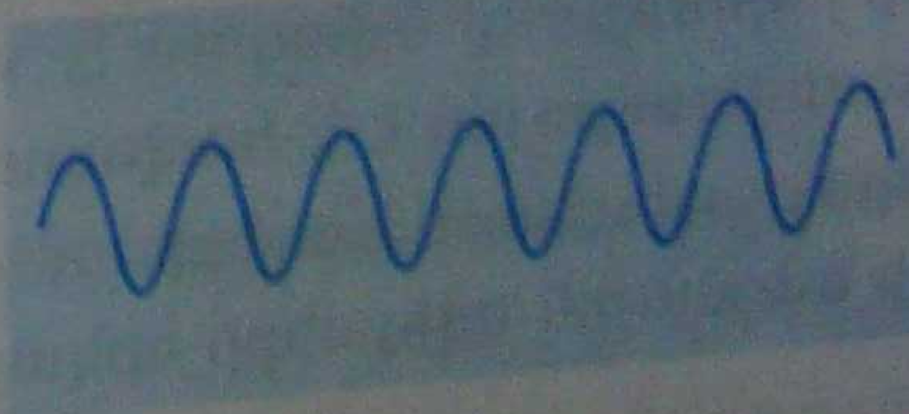
Որպես բացառություն նշենք կաուչուկը, որում ձայնի տարածման արագությունը մոտ հարյուր անգամ ավելի փոքր է, քան պողպատում (≈ 50 մ/վ), ինչը պայմանավորված է ինչպես կաուչուկում ծագող փոքր առաձգականության ուժերով, այնպես էլ նրա մակրոմոլեկուլների համեմատաբար մեծ զանգվածներով:

Ձայները, որոնք մենք լսում ենք ամեն օր, շատ բազմատեսակ են: Մեզանից յուրաքանչյուրը տարբերում է, այսպես կոչված, ***երաժշտական ձայնն*** աղմուկից: Երաժշտական են նվագարանների արձակած ձայները, երգելիս կամ սուլելիս հնչեցրած ձայները և այլն: Աղմուկներն առաջանում են պայթյունների, ներքին այրման շարժիչների աշխատանքի, օձի ֆշշացնելու, դռների չյուղված ծխնիների ճռռոցի և այլնի ժամանակ: Մենք մեր խոսքի օրգանների՝ ձայնալարերի միջոցով ի վիճակի ենք վերարտադրելու ավելի կամ պակաս ներդաշնակ ձայն և, իհարկե, աղմուկ:

Մաքուր երաժշտական ձայն կարելի է ստանալ ***կամերտոն*** կոչվող սարքի միջոցով: Կամերտոնը երկտակ մետաղե ձող է՝ ամրացված կալիչի (ոտքի) վրա: Նկ. 133,*ա*-ում ցույց է տրված կամերտոն, որը դրված է մի կողմից բաց փայտե արկղի վրա: Մուրճիկով հարվածելով կամերտոնի ճյուղերից մեկին՝ մենք կլսենք ձայն, որն աստիճանաբար թուլանում է ճյուղերի տատանումների մարման հետևանքով: Ձայնային ալիքն առաջանում է կամերտոնի ճյուղերի տատանումների հետևանքով: Այդ տատանումների բնույթը կարելի է պարզել, եթե կամերտոնի ճյուղին ամրացնենք ասեղ և այն հաստատուն արագությամբ շարժենք մրոտված ապակե թիթեղի մակերևույթով: Թիթեղի վրա կհայտնվի սինուսոիդին շատ նման կոր (նկ. 133,*բ*): Այստեղից կարելի է եզրակացնել, որ կամերտոնի ճյուղերի տատանումները շատ մոտ են ներդաշնակ տատանումներին:



ա



բ

Նկ. 133

Ներդաշնակորեն տատանվող մարմնի արձակած ձայնն անվանում են ***երաժշտական տոն*** կամ պարզապես ***տոն***:

Երաժշտական տոները տարբերվում են լսելիության ***ուժգնությամբ*** և ***բարձրությամբ***: Ձայնի ուժգնությունը որոշվում է տատանումների լայնույթով: Որքան ուժեղ է մուրճիկի հարվածը կամերտոնին, այնքան ավելի ուժգին է հնչում կամերտոնը: Իսկ ավելի ուժեղ հարվածն առաջացնում է մեծ լայնույթի տատանումներ:

Մեր ականջի զգայնությունը կախված է ձայնի հաճախությունից: Նույն լայնույթով ձայնային տատանումները մեզ չեն թվում միատեսակ ուժգին, եթե նրանց հաճախությունները տարբեր են: Մեր ականջն ամենազգայունն է մոտ 3500 Հց հաճախությամբ տատանումների նկատմամբ:

Որպեսզի որոշվի, թե ինչով է պայմանավորված ձայնի տոնի բարձրությունը, հարկավոր է ունենալ տարբեր չափերի մի քանի կամերտոն: Վերը նկարագրված ձևով գրանցելով կամերտոնների տատանումները՝ կարելի է նկատել, որ տատանման միևնույն լայնույթի դեպքում մեծ հաճախությամբ ձայնն ավելի բարձր է հնչում: ***Տոնի բարձրությունը որոշվում է տատանումների հաճախությամբ:*** Որքան մեծ է տատանումների հաճախությունը, այնքան բարձր է ձայնի տոնը:

Նույնը կարելի է դիտել լարի տատանումների ժամանակ: Լարի ձգվածության մեծացումը հանգեցնում է ազատ տատանումների հաճախության մեծացման: Ուստի, բանալիների միջոցով ձգելով կիթառի լարերը, մենք բարձրացնում ենք ձայնի տոնը:

Լարի տատանումների հաճախությունը կախված է (տրված ձգվածության դեպքում) նաև նրա երկարությունից: Կիթառ նվագելիս կիթառահարը լարերը մատներով սեղմում է լարատեղին: Դրա շնորհիվ փոխվում է ձայնի տոնի բարձրությունը:

Նշենք, որ մարդու ձայնին համապատասխանում է 70-ից մինչև 10000–12000 Հց հաճախությունների տիրույթ:

Աղմուկը երաժշտական տոնից տարբերվում է նրանով, որ նրան չի համապատասխանում տատանումների որոշակի հաճախություն և, հետևաբար, ձայնի որոշակի բարձրություն: Աղմուկում առկա են բազմազան հաճախություններով և տարբեր լայնույթներով տատանումներ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ալիքներն են կոչվում ձայնային:*
2. *Ի՞նչն են անվանում երաժշտական տոն:*
3. *Ինչի՞ց է կախված ձայնի ուժգնությունը:*
4. *Ինչի՞ց է կախված ձայնի տոնի բարձրությունը:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Ռոյալի հաճախային միջակայքը 90-ից 9000 Հց է: Գտնել ձայնային ալիքների երկարությունների միջակայքն օդում, եթե ձայնն օդում տարածվում է 360 մ/վ արագությամբ:*

Լուծում: λ ալիքի երկարության, ν հաճախության և υ տարածման արագության կապի՝ $\lambda = \upsilon/\nu$ բանաձևից հետևում է, որ հաճախության աճմանը զուգընթաց ալիքի երկարությունը նվազում է: $\nu_1 = 90$ Հց հաճախությամբ ձայնի ալիքի երկարությունը առավելագույնն է և հավասար՝ $\lambda_1 = \upsilon/\nu_1 = 4$ մ: $\nu_2 = 9000$ Հց հաճախությանը համապատասխանում է ալիքի ամենափոքր երկարությունը՝ $\lambda_2 = \upsilon/\nu_2 = 0,04$ մ: Ուստի ռոյալի ձայնային ալիքների երկարությունների միջակայքը 4 սմ-ից 4 մ է:

2. *Երբ ձայնն օդից անցնի ջրի մեջ, նրա բնութագրերից ո՞րը կփոխվի՝ հաճախությու՞նը, թե՞ ալիքի երկարությունը, և քանի՞ անգամ: Ձայնի տարածման արագությունը օդում համարել 360 մ/վ, իսկ ջրում՝ 1440 մ/վ:*

Լուծում: Ցանկացած միջավայրում տարածվող ձայնային ալիքի ν հաճախությունը հավասար է ալիքի աղբյուրի տատանումների հաճախությանը և կախված չէ միջավայրի հատկություններից: Ուստի մի միջավայրից մյուսն անցնելիս ալիքի հաճախությունը չի փոխվում: Ալիքի երկարությունը միջավայրում՝ $\lambda = \upsilon/\nu$, որտեղ υ-ն ալիքի տարածման արագությունն է, որը կախված է միջավայրի առաձգական հատկություններից: Հետևաբար՝ նույն հաճախությամբ ալիքի երկարությունը տարբեր միջավայրերում տարբեր է՝

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\upsilon_2/\nu}{\upsilon_1/\nu} = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{1440}{360} = 4 :$$

Խնդիրներ

1. *Ձայնն անդրադարձնող արգելքի հեռավորությունը 680 մ է: Որքա՞ն ժամանակ անց մարդը կլսի արձագանքը, եթե ձայնի արագությունն օդում 340 մ/վ է:*
2. *Որոշել 200 Հց հաճախությամբ ձայնի աղբյուրի առաջացրած ձայնային ալիքի երկարությունը հեղուկում: Ձայնի արագությունն այդ հեղուկում հավասար է 1450 մ/վ-ի:*
3. *Ձկնորսը նկատեց, որ 10 վ-ի ընթացքում լողանն ալիքների վրա կատարեց 20 տատանում: Որքա՞ն է ալիքների տարածման արագությունը, եթե ալիքի երկարությունը 1,2 մ է:*
4. *Քարն ազատ ընկնում է հանքահորի մեջ: 11,225 վ հետո լսվում է հանքահորի հատակին քարի հարվածելու ձայնը: Որոշել հանքահորի խորությունը: Ձայնի տարածման արագությունն օդում ընդունել հավասար 400 մ/վ-ի:*

ԳԼՈՒԽ 11-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ալիք են անվանում տարածության մեջ ժամանակի ընթացքում տարածվող տատանումները:
2. Ալիքն էներգիա է տեղափոխում, բայց չի տեղափոխում միջավայրի նյութը:
3. Լայնական ալիքում տատանումները կատարվում են իրենց տարածմանն ուղղահայաց ուղղությամբ:
4. Երկայնական ալիքում տատանումները կատարվում են ալիքի տարածման ուղղությամբ:
5. Ալիքի երկարությունը կախված է ալիքի տարածման արագությունից և տատանումների պարբերությունից՝ $\lambda = \upsilon T$:
6. Միջավայրում 16-ից մինչև 20000 Հց տատանումների հաճախությամբ ալիքները կոչվում են ձայնային:
7. Ձայնի ուժգնությունը որոշվում է տատանումների լայնույթով, իսկ բարձրությունը՝ տատանումների հաճախությամբ:

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

Ներածություն

Մեխանիկական շարժում: Մեխանիկայում մարմինների շարժումներն ուսումնասիրելիս մենք չենք հետաքրքրվում դրանց կառուցվածքով, այսինքն՝ հաշվի չենք առնում այն, որ մարմինները կազմված են ատոմներից կամ մոլեկուլներից, և ենթադրում ենք, որ դրանք հոծ են և զուրկ ներքին կառուցվածքից: Մեխանիկայի հիմնական խնդիրը լուծելիս, այն է՝ տվյալ մարմնի դիրքը այլ մարմինների նկատմամբ ժամանակի կամայական պահին որոշելիս, մարմնի ֆիզիկական հատկությունները հաշվի չեն առնվում: Անհրաժեշտ է գիտենալ միայն մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերի համազորը և սկզբնական պայմանները՝ մարմնի դիրքը և արագությունը $t = 0$ պահին:

Ջերմային շարժում: Նյութը կազմող մասնիկները՝ ատոմները և մոլեկուլները, կատարում են անկանոն, քաոսային շարժում, որն ընդունված է անվանել ***ջերմային***: Մոլեկուլների ջերմային շարժումն էապես տարբերվում է մարմինների կարգավորված մեխանիկական շարժումից: Կարգավորված ասելով հասկանում ենք հետևյալը՝ եթե հայտնի են մարմնի (մասնիկի) սկզբնական դիրքը և սկզբնական արագությունը, ապա կամայական պահի կարելի է տալ այդ մարմնի (մասնիկի) դիրքը, եթե հայտնի է նրա վրա ազդող ուժը: Ջերմային շարժմանը մասնակցում են մարմինը կազմող բոլոր մասնիկները, որոնց թիվը հսկայական է: Հենց այս հանգամանքն էլ հանգեցնում է մասնիկների վարքի որակական փոփոխության. չնայած յուրաքանչյուր մասնիկի շարժումը նկարագրվում է մեխանիկայի հիմնական օրենքներով, մեծ թվով մասնիկների համակարգում այն ձեռք է բերում քաոսային, պատահական բնույթ: Սա նշանակում է, որ եթե հայտնի են տվյալ պահին մասնիկի դիրքը և արագությունը, ապա սկզբունքորեն հնարավոր չէ որոշել նրա դիրքը (և արագությունը) ժամանակի ավելի ուշ պահերին, քանի որ ոչինչ չի կարելի ասել մասնիկի վրա համակարգի մնացած՝ հսկայական թվով մասնիկների կողմից ազդող համազոր ուժի մասին: Փոքր թվով մասնիկներից կազմված համակարգի նկատմամբ ջերմային շարժման հասկացությունը կիրառելի չէ: Այսպիսով՝ ***ջերմային շարժման հասկացությունը կիրառելի է հսկայական թվով մասնիկներից բաղկացած համակարգերի նկատմամբ***, որոնց ընդունված է անվանել ***մակրոսկոպական*** (հունարեն «մակրոս»՝ մեծ բառից): Փուչիկում գտնվող օդը, բաժակում լցված ջուրը, սառցասարը, երկրագունդը՝ այս ամենը մակրոսկոպական համակարգերի (մարմինների) օրինակներ են: Այս բաժնում մենք կուսումնասիրենք ***մակրոսկոպական մարմիններում ընթացող, այլ կերպ ասած՝ ջերմային երևույթները, որոնք պայմանավորված են մարմինը կազմող մասնիկների ջերմային շարժմամբ***:

Ջերմային երևույթներում հիմնական դեր է խաղում մարմնի ջերմաստիճանը: Բոլոր մարմինների հատկությունները կախված են ջերմաստիճանից: Փոփոխելով մարմնի ջերմաստիճանը՝ կարելի է փոփոխել մարմնի ծավալը, առաձգականությունը, էլեկտրական և մագնիսական հատկությունները, ագրեգատային վիճակը: Բոլորին հայտնի է, որ տաքացնելիս պինդ մարմինը կարող է վերածվել հեղուկի, հեղուկը՝ գազի: Ջերմային

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ
ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

Ներածություն

Մեխանիկական շարժում: Մեխանիկայում մարմինների շարժումներն ուսումնասիրելիս մենք չենք հետաքրքրվում դրանց կառուցվածքով, այսինքն՝ հաշվի չենք առնում այն, որ մարմինները կազմված են ատոմներից կամ մոլեկուլներից, և ենթադրում ենք, որ դրանք հոծ են և զուրկ ներքին կառուցվածքից: Մեխանիկայի հիմնական խնդիրը լուծելիս, այն է՝ տվյալ մարմնի դիրքը այլ մարմինների նկատմամբ ժամանակի ցանկացած պահին որոշելիս, մարմնի ֆիզիկական հատկությունները հաշվի չեն առնվում: Անհրաժեշտ է գիտենալ միայն մարմնի վրա ազդող բոլոր ուժերի համազորը և սկզբնական պայմանները՝ մարմնի դիրքը և արագությունը $t = 0$ պահին:

Ջերմային շարժում: Նյութը կազմող մասնիկները՝ ատոմները և մոլեկուլները, կատարում են անկանոն, քաոսային շարժում, որն ընդունված է անվանել ***ջերմային***: Մոլեկուլների ջերմային շարժումն էապես տարբերվում է մարմինների կարգավորված մեխանիկական շարժումից: Կարգավորված ասելով հասկանում ենք հետևյալը՝ եթե հայտնի են մարմնի (մասնիկի) սկզբնական դիրքը և սկզբնական արագությունը, ապա ցանկացած պահի կարելի է տալ այդ մարմնի (մասնիկի) դիրքը, եթե հայտնի է նրա վրա ազդող ուժը: Ջերմային շարժմանը մասնակցում են մարմինը կազմող բոլոր մասնիկները, որոնց թիվը հսկայական է: Հենց այս հանգամանքն էլ հանգեցնում է մասնիկների վարքի որակական փոփոխության. չնայած յուրաքանչյուր մասնիկի շարժումը նկարագրվում է մեխանիկայի հիմնական օրենքներով, մեծ թվով մասնիկների համակարգում այն ձեռք է բերում քաոսային, պատահական բնույթ: Սա նշանակում է, որ եթե հայտնի են տվյալ պահին մասնիկի դիրքը և արագությունը, ապա սկզբունքորեն հնարավոր չէ որոշել նրա դիրքը (և արագությունը) ժամանակի ավելի ուշ պահերին, քանի որ ոչինչ չի կարելի ասել մասնիկի վրա համակարգի մնացած՝ հսկայական թվով մասնիկների կողմից ազդող համազոր ուժի մասին: Փոքր թվով մասնիկներից կազմված համակարգի նկատմամբ ջերմային շարժման հասկացությունը կիրառելի չէ: Այսպիսով՝ ***ջերմային շարժման հասկացությունը կիրառելի է հսկայական թվով մասնիկներից բաղկացած համակարգերի նկատմամբ***, որոնք ընդունված է անվանել ***մակրոսկոպական*** (հունարեն «մակրոս»՝ մեծ բառից): Փուչիկում գտնվող օդը, բաժակում լցված ջուրը, սառցասարը, երկրագունդը՝ այս ամենը մակրոսկոպական համակարգերի (մարմինների) օրինակներ են: Այս բաժնում մենք կուսումնասիրենք ***մակրոսկոպական մարմիններում ընթացող, այլ կերպ ասած՝ ջերմային երևույթները, որոնք պայմանավորված են մարմինը կազմող մասնիկների ջերմային շարժմամբ:***

Ջերմային երևույթներում հիմնական դեր է խաղում մարմնի ջերմաստիճանը: Բոլոր մարմինների հատկությունները կախված են ջերմաստիճանից: Փոփոխելով մարմնի ջերմաստիճանը՝ կարելի է փոփոխել մարմնի ծավալը, առաձգականությունը, էլեկտրական և մագնիսական հատկությունները, ագրեգատային վիճակը: Բոլորին հայտնի է, որ տաքացնելիս պինդ մարմինը կարող է վերածվել հեղուկի, հեղուկը՝ գազի: Ջերմային

երևույթները ենթարկվում են որոշակի օրենքների, որոնք ճշգրիտ և օբյեկտիվ են, ինչ-պես մեխանիկայի օրենքները, սակայն դրանցից տարբերվում են և՛ բովանդակությամբ, և՛ ձևով: Ջերմային երևույթները նկարագրող օրենքները հնարավորություն են տալիս դրանք հաջողությամբ կիրառելու պրակտիկ գործունեության մեջ և տեխնիկայում: Ներկայումս կենցաղում, արտադրության, գիտության մեջ և տեխնիկայում կիրառվող բազմաթիվ մեքենաները՝ սառնարանները, ջեռուցիչները, ջերմաշարժիչները, գազի հեղուկացման կայանքները, արեգակնային մարտկոցները և բազմաթիվ այլ սարքեր կառուցված են այդ օրենքների հիման վրա:

Ջերմային երևույթները բացատրվում են երկու տարբեր մոտեցումներով՝ ըստ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության և ջերմադինամիկայի:

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը մակրոսկոպական մարմինների ջերմային հատկությունները բացատրում է՝ հիմնվելով այն պատկերացումների վրա, որ բոլոր մարմինները կազմված են ատոմներից և մոլեկուլներից, որոնք կատարում են անկանոն (բաոսային կամ ջերմային) շարժում: Այս տեսության խնդիրն է՝ բացատրել մակրոսկոպական համակարգի ֆիզիկական հատկությունները և հաշվարկել համակարգի բնութագրերը՝ դրանք արտահայտելով համակարգը կազմող մասնիկների բնութագրերի և նրանց շարժման առանձնահատկությունների միջոցով:

Ջերմադինամիկան մակրոսկոպական մարմինների ջերմային հատկությունները բացատրում է՝ հիմնվելով բազմաթիվ փորձերի արդյունքում ստացված մի քանի օրենքի կամ սկզբունքի վրա: Ջերմադինամիկայում հաշվի չի առնվում մարմնի մոլեկուլային կառուցվածքը: Ջերմադինամիկայի օրենքները ճշգրիտ և իրավացի են և՛ գազերի, և՛ հեղուկների, և՛ պինդ մարմինների համար: Գիտության զարգացման արդյունքում մեր պատկերացումները մարմինների, դրանց բաղադրիչ մասնիկների մասին կարող են փոփոխվել, սակայն ջերմադինամիկայի օրենքները միշտ տեղի ունեն: Ավելորդ չէ հիշել, որ ջերմադինամիկան, որպես գիտություն, ավարտուն տեսք է ստացել 19-րդ դարի կեսերին, երբ գիտնականների մեծ մասը դեռևս վիճարկում էր ատոմների և մոլեկուլների գոյությունը: Ջերմադինամիկան գործ ունի այնպիսի մեծությունների հետ, որոնք բնութագրում են մակրոսկոպական համակարգն ամբողջությամբ, օրինակ՝ ծավալ, ճնշում, զանգված, ջերմաստիճան և այլն: Ջերմադինամիկան նկարագրում է ջերմային պրոցեսները, նրանց ընթացքը՝ առանց բացատրելու դրանց պատճառները, ուստի ջերմադինամիկան ***երևութաբանական*** կամ ***ֆենոմենոլոգիական*** (հունարեն «ֆենոմենոն»՝ երևացող և «լոգոս»՝ ուսմունք բառերից) գիտություն է:

Ջերմադինամիկան և մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը (ներկայումս ընդունված է վերջինիս «***վիճակագրական ֆիզիկա***» անվանումը) փոխադարձաբար լրացնում են իրար: Վիճակագրական ֆիզիկայի օգնությամբ կարելի է հիմնավորել ջերմադինամիկայի բոլոր օրենքները, որոնք ստացվել են որպես փորձնական փաստերի ընդհանրացման արդյունք: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության նախնական գաղափարները ձևավորվել են դեռևս Հին աշխարհում (Դեմոկրիտ, Էպիկուրոս, Լուկրեցիոս), սակայն վիճակագրական ֆիզիկան, որպես գիտություն, վերջնականորեն ձևավորվել է միայն 20-րդ դարի սկզբին:



12 ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ-ԿԻՆԵՏԻԿ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ

§ 54. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթները: Մոլեկուլների չափերի, թվի և զանգվածի գնահատումը

Նյութի կառուցվածքի մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմքում ընկած են հետևյալ երեք դրույթները.

1. *Նյութը կազմված է մասնիկներից՝ ատոմներից և մոլեկուլներից:*

2. *Ատոմները և մոլեկուլները գտնվում են անընդհատ, քաոսային (ջերմային) շարժման մեջ:*

3. *Նյութը կազմող մասնիկները փոխազդում են իրար հետ:*

Բոլոր նյութերի հատկությունները, սկսած գազերից և վերջացրած պինդ մարմիններով, որոշվում են նյութը կազմող մասնիկների՝ ատոմների և մոլեկուլների շարժմամբ և փոխազդեցությամբ: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության մեջ ինչպես ատոմները, որոնք տարրի հատկությունների կրողներն են, այնպես էլ մոլեկուլները, որոնք նյութի քիմիական հատկությունների ամենափոքր կրողներն են, կատարում են տեսության «աղյուսիկների» դեր: Ինչպես մեխանիկական շարժումն ուսումնասիրելիս մենք հաշվի չենք առնում մարմնի կառուցվածքը՝ այն համարելով հոծ, այնպես էլ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության մեջ հաշվի չի առնվում ատոմի (մոլեկուլի) կոնկրետ կառուցվածքը: Այսպիսով՝ ատոմները և մոլեկուլները դիտվում են որպես ներքին կառուցվածքից զուրկ, ավելի փոքր մասերի այլևս չբաժանվող մասնիկներ: Ատոմի կառուցվածքի և նրա հատկությունների բացատրությունը տրվում է ատոմային ֆիզիկայում: Եթե համակարգը կազմված է ատոմի բաղադրության մեջ մտնող էլեկտրոններից, ատոմային միջուկներից կամ իոններից, ապա մենք գործ ունենք պլազմայի հետ, որը ներկայումս ընդունված է որպես նյութի չորրորդ վիճակ (պինդ, հեղուկ և գազային վիճակներից հետո): Պլազման Տիեզերքում նյութի գոյության հիմնական ձևն է: Նյութի երեք ագրեգատային վիճակների նման, պլազման էլ կարելի է նկարագրել ինչպես վիճակագրական ֆիզիկայի, այնպես էլ ջերմադինամիկայի մեթոդներով:

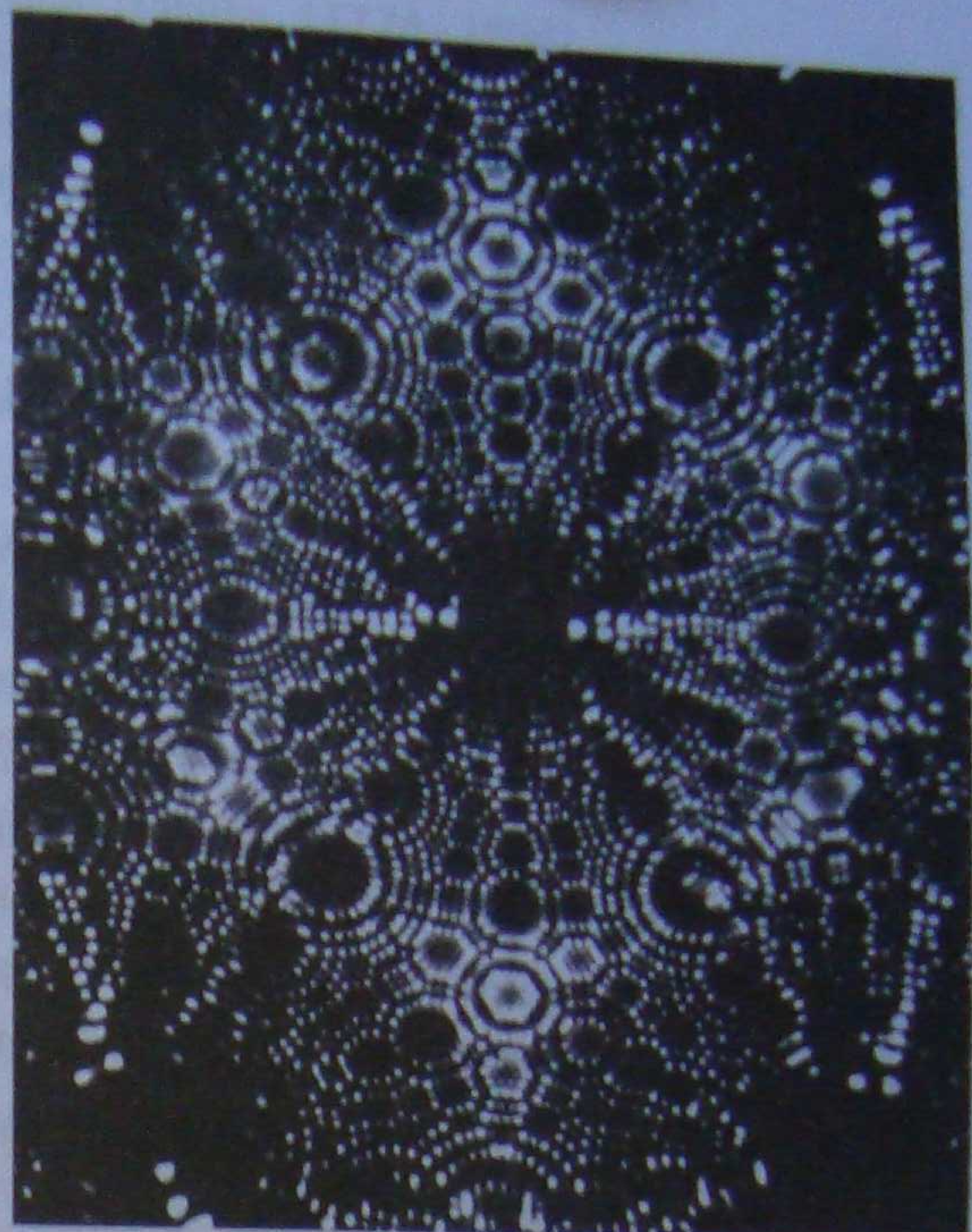
Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության բոլոր դրույթները բազմիցս ապացուցվել և հաստատվել են փորձով:

Ծանոթանանք այս ապացույցներից մի քանիսին:

Քիմիայից հայտնի է Ջ.Դալտոնի հաստատուն հարաբերությունների օրենքը, որի համաձայն յուրաքանչյուր քիմիական նյութ առաջանում է նրա բաղադրամասերի զանգվածների խիստ որոշակի և երբեք չփոփոխվող հարաբերակցության դեպքում: Օրինակ՝ ջրածնից և թթվածնից ջուր առաջանալիս ռեակցիայի մեջ մտած ջրածնի և թթվածնի զանգվածները հարաբերում են, ինչպես 1:8: Այս փաստը կարելի է բացատրել միայն այն դեպքում, երբ ընդունենք, որ ջրի մոլեկուլի առաջացման ժամանակ որոշակի թվով ջրածնի ատոմներ միանում են որոշակի թվով թթվածնի ատոմների հետ: Ջրի մոլեկուլը

բաղկացած է երկու ատոմ ջրածնից և մեկ ատոմ թթվածնից, ուստի ջրածնի երկու ատոմի զանգվածի և թթվածնի մեկ ատոմի զանգվածի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է և երբեք փոփոխվել չի կարող:

Ներկայումս ստեղծված են իոնային մանրադիտակ և էլեկտրոնային մանրադիտակ, որոնց միջոցով կարելի է ստանալ նյութի կազմության մեջ մտնող առանձին ատոմի պատկերը և փորձնական ճանապարհով գնահատել նրա չափերը: Նկ. 134-ում լուսավոր կետերով պատկերված են ատոմների դիրքերը վոլֆրամի բյուրեղից պատրաստված ասեղի ծայրին (նկարը ստացվել է իոնային մանրադիտակում):



Նկ. 134

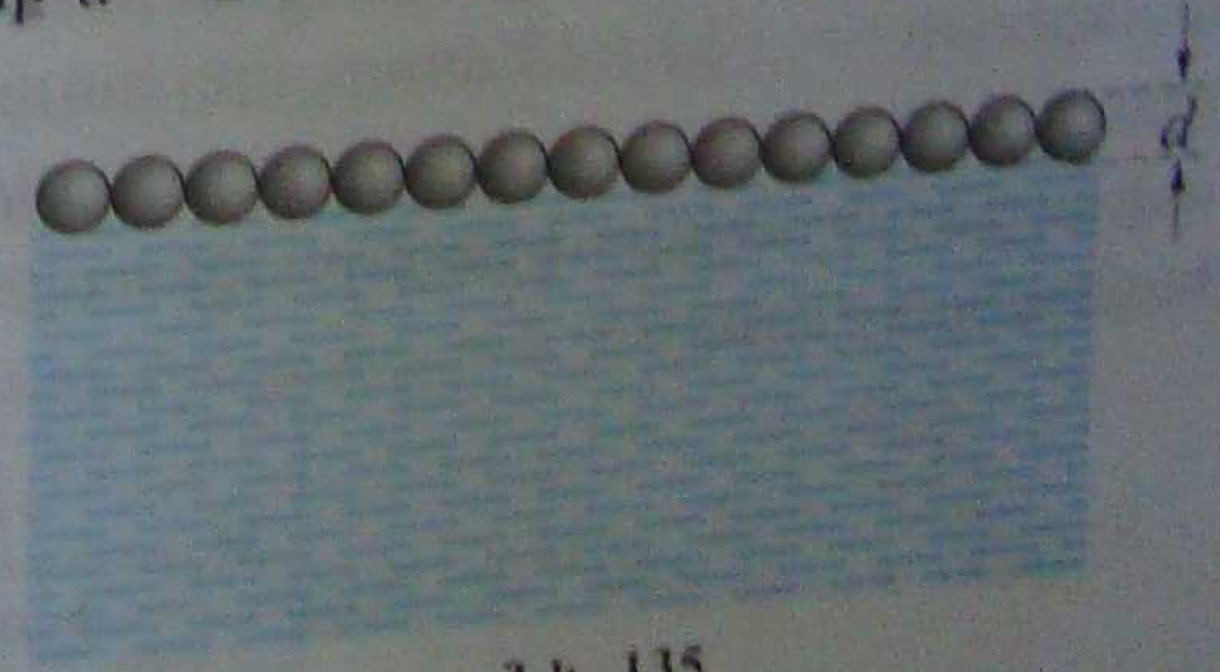
Նյութի փոքրագույն մասնիկների գոյությունը բխում է նաև նրա ընդհատության (դիսկրետության) հատկությունից, որի ապացույցն է նյութի սեղմելիությունը: Եթե նյութը լիներ հոծ, ապա այն անհնար կլիներ սեղմել: Սակայն հայտնի է, որ բոլոր նյութերն էլ այս կամ այն չափով սեղմելի են: Ուրեմն, եթե ընդունենք, որ նյութն ընդհատ է, այսինքն՝ նրա մասնիկները գտնվում են իրարից որոշակի հեռավորությունների վրա, ապա, մարմնի վրա ուժ գործադրելով, կարելի է այն սեղմել՝ իրար մոտեցնել մարմինը կազմող մասնիկները:

Մարմինը կազմող մասնիկների գոյության, ինչպես և նրանց անընդհատ, քաոսային շարժման ամենահամոզիչ ապացույցներից են ***դիֆուզիայի երևույթը*** և ***բրոունյան շարժումը***:

Ատոմների և մոլեկուլների չափերը: Ատոմների և մոլեկուլների չափերի մասին գաղափար կազմելու համար կատարենք հետևյալ պարզ փորձը, որն առաջարկել է անգլիացի նշանավոր ֆիզիկոս Ռելեյը: Եթե ջրի մակերևույթին կաթեցնենք ջրում չլուծվող որևէ հեղուկի, օրինակ՝ յուղի մի կաթիլ, որի V ծավալը մեզ հայտնի է, ապա այն կտարածվի ջրի մակերևույթին՝ առաջացնելով թաղանթ (նկ. 135): Չափելով թաղանթի S մակերեսը՝ կարելի է գնահատել թաղանթի հաստությունը, որի ամենափոքր հնարավոր արժեքն էլ հենց կլինի թաղանթը կազմող մասնիկների չափը՝ $d = V/S$: Օգտվելով փորձի արդյունքներից ($V \approx 0{,}1$ մմ^3 ծավալով յուղի կաթիլի թաղանթի մակերեսը՝ $S \approx 0{,}5$մ^2)՝ մասնիկի չափի համար ստանում ենք $d \approx 2 \cdot 10^{-10}$ մ գնահատականը:

Փոքր մեծությունների չափերը հարմար է արտահայտել անգստրեմով (Å) կամ նանոմետրով (նմ): Սահմանման համաձայն՝

$$1\,Å = 10^{-8}\,սմ = 10^{-10}\,մ,$$
$$1\,նմ = 10^{-9}\,մ = 10\,Å:$$

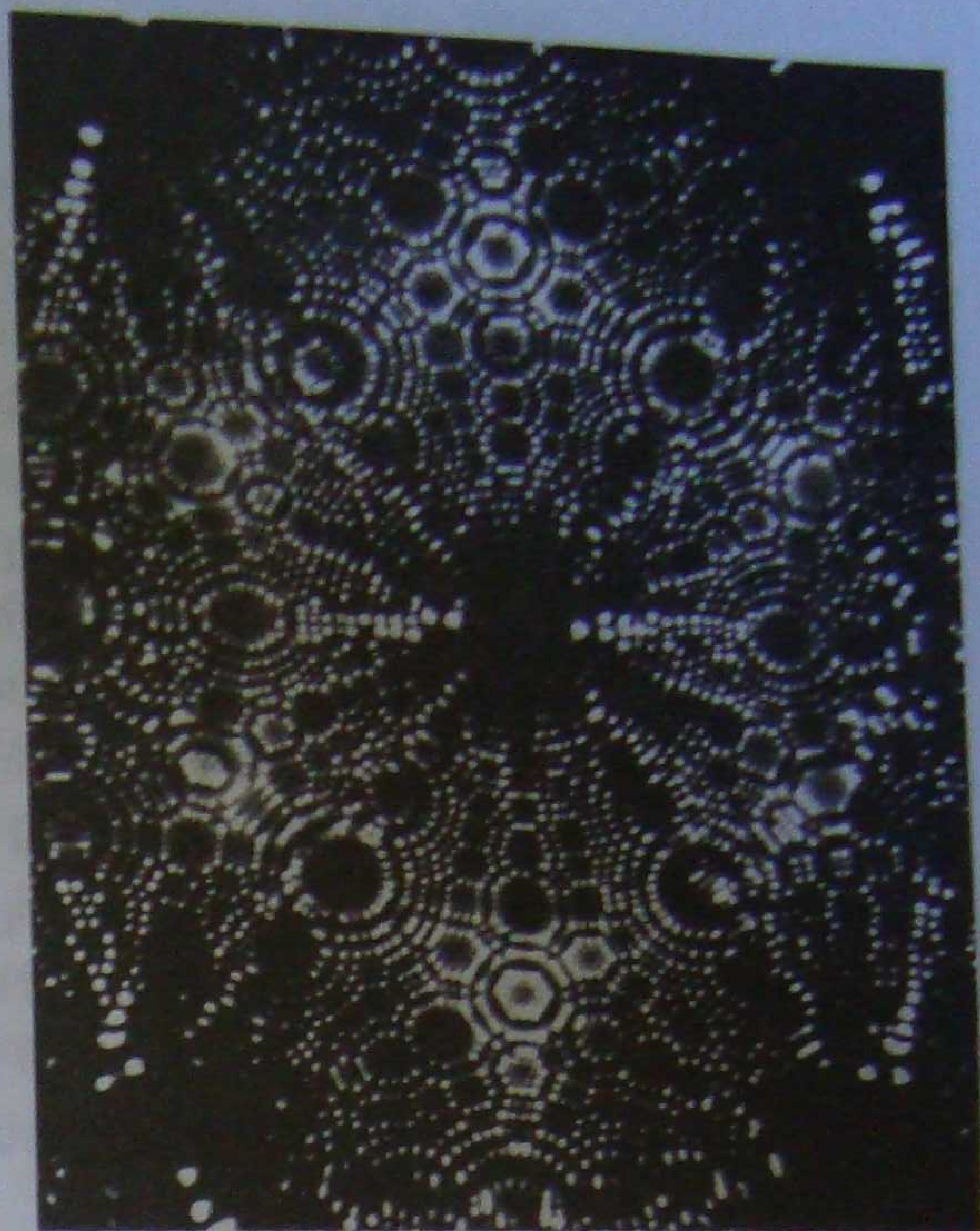


Նկ. 135

Այսպիսով՝ ատոմների բնութագրական չափերը մի քանի անգստրեմի կարգի մեծություն-

բաղկացած է երկու ատոմ ջրածնից և մեկ ատոմ թթվածնից, ուստի ջրածնի երկու ատոմի զանգվածի և թթվածնի մեկ ատոմի զանգվածի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է և երբեք փոփոխվել չի կարող:

Ներկայումս ստեղծված են իոնային մանրադիտակ և էլեկտրոնային մանրադիտակ, որոնց միջոցով կարելի է ստանալ նյութի կազմության մեջ մտնող առանձին ատոմի պատկերը և փորձնական ճանապարհով գնահատել նրա չափերը: Նկ. 134-ում լուսավոր կետերով պատկերված են ատոմների դիրքերը վոլֆրամի բյուրեղից պատրաստված ասեղի ծայրին (նկարը ստացվել է իոնային մանրադիտակում):

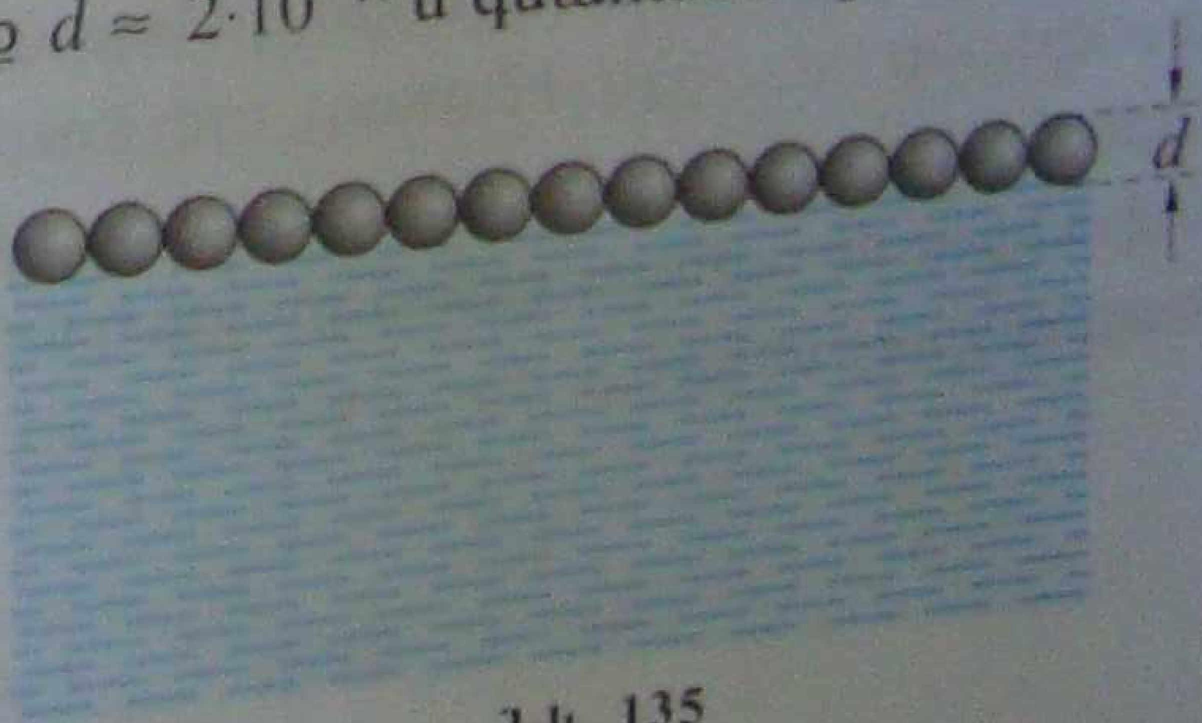


Նկ. 134

Նյութի փոքրագույն մասնիկների գոյությունը բխում է նաև նրա ընդհատության (դիսկրետության) հատկությունից, որի ապացույցն է նյութի սեղմելիությունը: Եթե նյութը լիներ հոծ, ապա այն անհնար կլիներ սեղմել: Սակայն հայտնի է, որ բոլոր նյութերն էլ այս կամ այն չափով սեղմելի են: Ուրեմն, եթե ընդունենք, որ նյութն ընդհատ է, այսինքն՝ նրա մասնիկները գտնվում են իրարից որոշակի հեռավորությունների վրա, ապա, մարմնի վրա ուժ գործադրելով, կարելի է այն սեղմել՝ իրար մոտեցնել մարմինը կազմող մասնիկները:

Մարմինը կազմող մասնիկների գոյության, ինչպես և նրանց անընդհատ, քաոսային շարժման ամենահամոզիչ ապացույցներից են ***դիֆուզիայի երևույթը*** և ***բրոունյան շարժումը***:

Ատոմների և մոլեկուլների չափերը: Ատոմների և մոլեկուլների չափերի մասին գաղափար կազմելու համար կատարենք հետևյալ պարզ փորձը, որն առաջարկել է անգլիացի նշանավոր ֆիզիկոս Ռելեյը: Եթե ջրի մակերևույթին կաթեցնենք ջրում չլուծվող որևէ հեղուկի, օրինակ՝ յուղի մի կաթիլ, որի V ծավալը մեզ հայտնի է, ապա այն կտարածվի ջրի մակերևույթին՝ առաջացնելով թաղանթ (նկ. 135): Չափելով թաղանթի ամենափոքր հնարավոր S մակերեսը՝ կարելի է գնահատել թաղանթի հաստությունը, որի արժեքն էլ հենց կլինի թաղանթը կազմող մասնիկների չափը՝ $d = V/S$: Օգտվելով փորձի արդյունքներից ($V \approx 0{,}1$ մմ^3 ծավալով յուղի կաթիլի թաղանթի մակերեսը՝ $S \approx 0{,}5$մ^2)՝ մասնիկի չափի համար ստանում ենք $d \approx 2 \cdot 10^{-10}$ մ գնահատականը:



Նկ. 135

Փոքր մեծությունների չափերը հարմար է արտահայտել անգստրեմով (Å) կամ նանոմետրով (նմ): Սահմանման համաձայն՝

$$1\text{ Å} = 10^{-8}\text{ սմ} = 10^{-10}\text{ մ},$$
$$1\text{ նմ} = 10^{-9}\text{ մ} = 10\text{ Å}:$$

Այսպիսով՝ ատոմների բնութագրական չափերը մի քանի անգստրեմի կարգի մեծություն-

ներ են: Սակայն մոլեկուլների չափերը, կախված նրանցում պարունակվող ատոմների թվից, կարող են տարբերվել բերված գնահատականից: Որոշ նյութեր, օրինակ՝ հելիում (He), արգոն (Ar), պղինձ (Cu) և այլն, կազմված են մեկ մասնիկ (ատոմ) ունեցող մոլեկուլներից, իսկ, օրինակ, անալգինի մոլեկուլը պարունակում է 38 ատոմ: Բազմատոմ մոլեկուլներ են սպիտակուցների (ավելի քան հազար ատոմ), պոլիմերների (մինչև տասնյակ հազար ատոմ), կաուչուկների (մինչև կես միլիոն ատոմ) մոլեկուլները: Վերջիններիս չափերը կարող են հասնել մինչև 0,01 մմ -ի:

Մոլեկուլների թիվը: Քանի որ մոլեկուլների չափերը չափազանց փոքր են, ապա մակրոսկոպական ծավալում նրանց թիվը հսկայական է:

Գնահատենք, օրինակ, 1 կգ ջրում պարունակվող մոլեկուլների թիվը: Ջրի մոլեկուլի տրամագիծը մոտավորապես $3\text{Å} = 3\cdot10^{-10}$ մ է, ուստի 10^{-3} մ^3-ում, որը զբաղեցնում է 1 կգ ջուրը, կպարունակվի 10^{-3} մ$^3/(3\cdot10^{-10}$ մ$)^3 \approx 3{,}7\cdot10^{25}$ մասնիկ: Համեմատության համար նշենք, որ ներկայումս երկրագնդի բնակչության թիվը մոտ 6 միլիարդ մարդ է ($6\cdot10^9$), այնքան, որքան մոլեկուլ է պարունակվում մոտ 10^{-16} կգ ջրում:

Մոլեկուլների զանգվածը: Գիտենալով 1 կգ ջրում պարունակվող մոլեկուլների թիվը՝ կարելի է գնահատել ջրի մեկ մոլեկուլի զանգվածը՝

$$m_1 = \frac{1\text{ կգ}}{3{,}7\cdot10^{25}} \approx 3\cdot10^{-26}\text{ կգ}:$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթները:*
2. *Ի՞նչ է ջերմային շարժումը:*
3. *Տվե՛ք մակրոսկոպական համակարգի սահմանումը:*
4. *Ո՞րն է մոլեկուլային-կինետիկ տեսության և ջերմադինամիկայի՝ համակարգի ջերմային հատկությունները նկարագրելու մեթոդների, մոտեցումների տարբերությունը:*
5. *Ի՞նչ կարգի մեծություններ են մոլեկուլների (ատոմների) չափերը և զանգվածները:*

§ 55. Նյութի քանակ: Ավոգադրոյի հաստատուն

Հարաբերական մոլեկուլային զանգված: Ինչպես տեսանք ջրի մոլեկուլի զանգվածի օրինակով, մոլեկուլների զանգվածները չափազանց փոքր են: Հաշվարկները կատարելիս հարմար է օգտագործել ոչ թե նրանց բացարձակ արժեքները՝ արտահայտված կիլոգրամներով, այլ ընտրել զանգվածի համապատասխան միավոր և մոլեկուլի զանգվածն արտահայտել այդ միավորով: Ինչպես գիտենք քիմիայի դասընթացից, ներկայումս որպես մոլեկուլների զանգվածների միավոր ընդունված է ածխածնի ատոմի զանգվածի (m_{1C}-ի) 1/12 մասը, որը հայտնի է որպես «*զանգվածի ատոմային միավոր*» (զ.ա.մ.): Այսպիսով՝ նյութի ***հարաբերական մոլեկուլային զանգված***՝ M_r, անվանում են տվյալ նյութի մոլեկուլի զանգվածի և ածխածնի ատոմի զանգվածի 1/12 մասի (1 զ.ա.մ.) հարաբերությունը՝

$$M_r = \frac{m_1}{1\text{ զ.ա.մ.}} = \frac{m_1}{m_{1C}/12}: \qquad (12.1)$$



Ավոգադրո Ամեդեո (1776 - 1856)

Իտալացի ֆիզիկոս. հիմնական ֆիզիկական աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային: 1811 թ. հայտնաբերել է ներկայումս իր անունը կրող օրենքը, որի հիման վրա մշակել է ատոմային և մոլեկուլային զանգվածների որոշման մեթոդ:

(12.1) սահմանումից հետևում է, որ նյութի հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը չափայնություն չունեցող մեծություն է: Գիտենալով M_r մեծությունը` (12.1) բանաձևով կարող ենք հաշվել տվյալ նյութի մոլեկուլի զանգվածը` արտահայտված կիլոգրամներով: Եթե նյութը բաղկացած է միատոմ մոլեկուլներից, ապա հարաբերական մոլեկուլային զանգվածի փոխարեն օգտագործում են «հարաբերական ատոմային զանգված» արտահայտությունը: Բազմատոմ նյութի մոլեկուլի հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը կարելի է հաշվել` գումարելով մոլեկուլի բաղադրության մեջ մտնող ատոմների հարաբերական ատոմային զանգվածները: Օրինակ` պղնձարջասպի ($CuSO_4$) մոլեկուլի հարաբերական մոլեկուլային զանգվածն արտահայտվում է նրա բաղադրության մեջ մտնող ատոմների հարաբերական ատոմային զանգվածների միջոցով ($M_{rCu} = 63{,}55$, $M_{rS} = 32$, $M_{rO} = 16$)`

$$M_{rCuSO_4} = \frac{m_{1Cu} + m_{1S} + 4 \cdot m_{1O}}{m_{1C}/12} = M_{rCu} + M_{rS} + 4M_{rO} = 159{,}55:$$

Նյութի քանակ: Տվյալ մարմնում նյութի պարունակությունը կախված է այդ մարմինը կազմող մասնիկների թվից. որքան շատ են մոլեկուլները (կամ ատոմները), այնքան ավելի շատ նյութ է պարունակվում տվյալ մարմնում: Մակրոսկոպական մարմնում մոլեկուլների թիվը չափազանց մեծ է, ուստի նպատակահարմար է ընտրել մասնիկների թվի որոշակի չափ և նրա միջոցով արտահայտել տվյալ մարմնում մասնիկների թիվը: Որպես այդպիսի չափ ներկայումս ընտրված է 0,012 կգ ածխածնում պարունակվող ատոմների թիվը` $N_A$-ն (Ավոգադրոյի հաստատուն): Այսպիսով, ***նյութի քանակ***` ν (նյու) անվանում են տվյալ մարմնում պարունակվող մոլեկուլների N թվի և Ավոգադրոյի N_A հաստատունի հարաբերությունը`

$$\boxed{\nu = \frac{N}{N_A}} : \qquad (12.2)$$

Գիտենալով նյութի քանակը` $\nu$-ն, (12.2) բանաձևով կարող ենք հաշվել մարմնում պարունակվող մոլեկուլների թիվը` $N = \nu N_A$: Միավորների ՄՀ-ում որպես նյութի քանակի միավոր ընդունված է մոլը: Մեկ մոլը նյութի այն քանակն է, որը պարունակում է $N=N_A$ մոլեկուլ: Ինչպես հետևում է մոլի սահմանումից, ***յանկացած նյութի 1 մոլը պարունակում է նույն` N_A թվով մոլեկուլ***: Մոլը ՄՀ-ի հիմնական միավոր է:

Որոշենք Ավոգադրոյի N_A հաստատունի արժեքը: Դրա համար անհրաժեշտ է ածխածնի մեկ ատոմի մեկ մոլի զանգվածը` 0,012 կգ/մոլ մեծությունը, բաժանել ածխածնի մեկ ատոմի $m_{1C}$ զանգվածի վրա: Ճշգրիտ չափումների համաձայն` $m_{1C} = 1{,}995 \cdot 10^{-26}$ կգ, հետևաբար`

$$N_A = \frac{0{,}012\ \text{կգ/մոլ}}{1{,}995 \cdot 10^{-26}\ \text{կգ}} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-2}}{1{,}995 \cdot 10^{-26}} \frac{1}{\text{մոլ}} = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \text{մոլ}^{-1}: \qquad (12.3)$$

Տվյալ նյութի ν մոլում պարունակվող ատոմների թիվը որոշելու համար անհրաժեշտ է ν մոլում պարունակվող մոլեկուլների νN_A թիվը բազմապատկել մեկ մոլեկուլում ատոմների թվով: Օրինակ՝ պղնձարջասպի ($CuSO_4$) յուրաքանչյուր մոլեկուլ կազմված է 6 ատոմից, ուստի մեկ մոլ պղնձարջասպում պարունակվող ատոմների թիվը՝

$$N_{ատոմ} = N_A\left[1(Cu)+1(S)+4(O)\right]=6N_A :$$

Ավոգադրոյի N_A հաստատունը մոլեկուլային ֆիզիկայի կարևորագույն հաստատուններից է:

Մոլային զանգված: Մոլային զանգված է կոչվում մեկ մոլ նյութի զանգվածը: Այն արտահայտվում է Ավոգադրոյի հաստատունի միջոցով: Եթե տվյալ նյութի մոլեկուլի զանգվածը m_1 է, իսկ մեկ մոլում մոլեկուլների թիվը՝ N_A, ապա մոլային զանգվածը՝

$$\boxed{M = m_1 N_A} : \qquad (12.4)$$

Միավորների ՄՀ-ում մոլային զանգվածի միավորը, համաձայն (12.4) սահմանման, 1 կգ/մոլ-ն է: m_1 զանգվածը, ըստ (12.1) բանաձևի, կարելի է արտահայտել M_r հարաբերական մոլեկուլային զանգվածի միջոցով, ուստի մոլային զանգվածը՝

$$M = M_r \cdot \frac{1}{12} m_{1C} \cdot N_A = M_r \cdot \frac{m_{1C}}{12} \cdot \frac{0{,}012 \text{ կգ/մոլ}}{m_{1C}} = 0{,}001 M_r \frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} =$$
$$= 10^{-3} M_r \frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} = M_r \text{ գ/մոլ} : \qquad (12.5)$$

Նյութի քանակը մոլեկուլային ֆիզիկայի հիմնական հասկացություններից է: Այն չպետք է շփոթել նյութի զանգվածի հետ: Կապը նյութի m զանգվածի և ν նյութի քանակի միջև տրվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$m = m_1 N = m_1 N_A \nu : \qquad (12.6)$$

Նկատի ունենալով (12.4) բանաձևը՝ կստանանք նյութի զանգվածի և նյութի մոլային զանգվածի միջև կապը՝

$$m = \nu M : \qquad (12.7)$$

(12.7) բանաձևից ստացվում է նյութի քանակի հաշվարկման նոր արտահայտություն՝

$$\boxed{\nu = \frac{V}{V_M}} , \qquad (12.8)$$

որն, իհարկե, անմիջապես հետևում է ν-ի (12.2) սահմանումից:

Մոլային ծավալ: Մոլային ծավալ է կոչվում մեկ մոլ նյութի զբաղեցրած ծավալը: Այն կարելի է արտահայտել նյութի ρ խտության և M մոլային զանգվածի միջոցով՝

$$\boxed{V_M = \frac{M}{\rho}} : \qquad (12.9)$$

Միավորների ՄՀ-ում մոլային ծավալն արտահայտվում է մ³/մոլ միավորով: Եթե նյութի ծավալը V է, ապա ν նյութի քանակը կարելի է արտահայտել V-ի և V_M մոլային ծավալի միջոցով՝

$$\boxed{\nu = \frac{V}{V_M}} : \qquad (12.10)$$

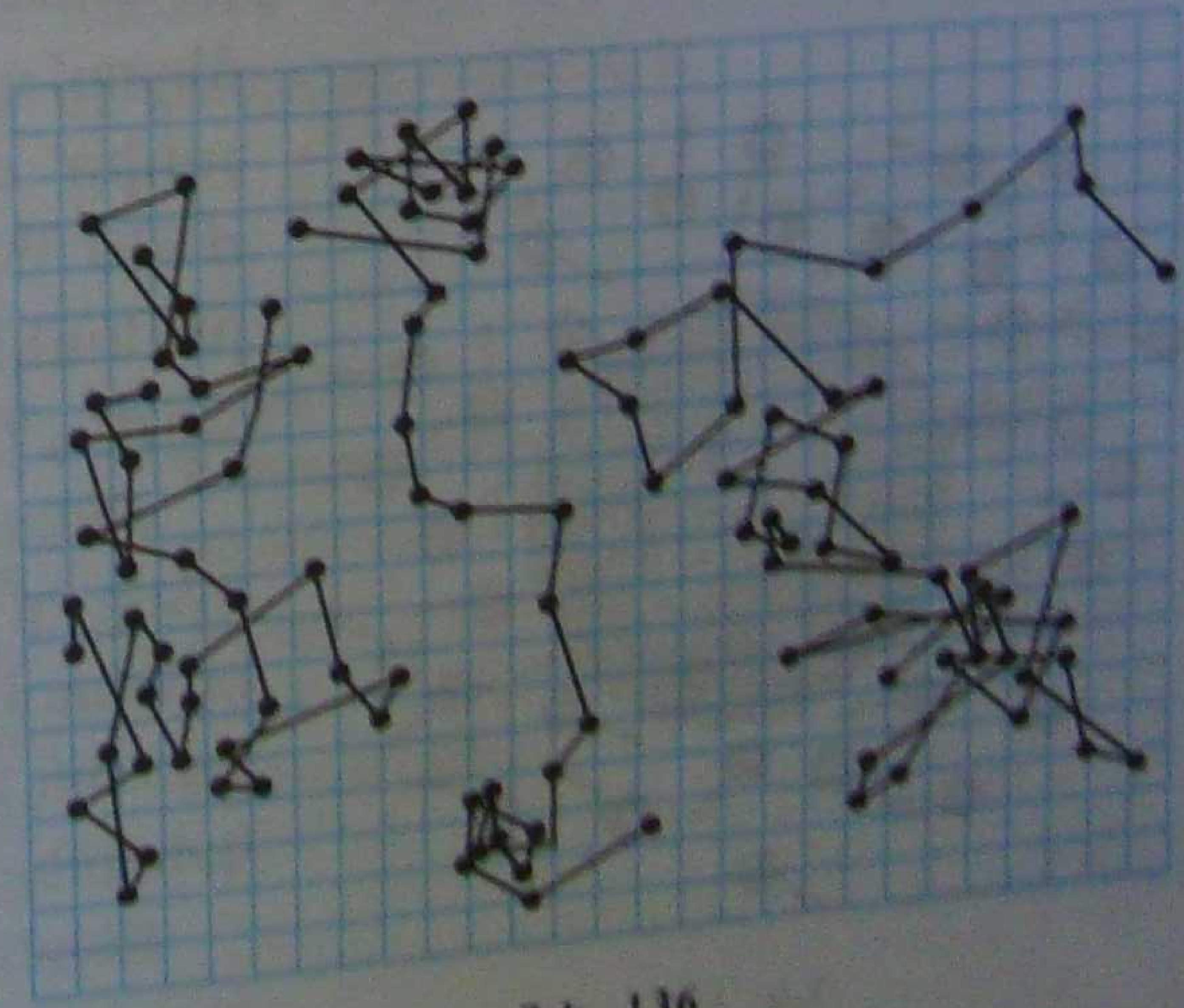
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ի՞նչ է զանգվածի ատոմային միավորը (զ.ա.մ.):
2. Ի՞նչ է հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը:
3. Ի՞նչ է նյութի քանակը և ի՞նչ միավորով է այն արտահայտվում:
4. Ինչի՞ է հավասար Ավոգադրոյի հաստատունը:
5. Ի՞նչ է մոլային զանգվածը:
6. Ինչպե՞ս է որոշվում m զանգվածով մարմնի նյութի քանակը:

§ 56. Բրոունյան շարժում

Մոլեկուլների գոյության և նրանց քաոսային (ջերմային) շարժման ամենահամոզիչ ապացույցներից մեկը *բրոունյան շարժումն* է, որն առաջին անգամ դիտել է Ռ.Բրոունը 1827 թ.: Մանրադիտակով ուսումնասիրելով ջրի կաթիլը՝ Ռ.Բրոունը ուշադրություն դարձրեց դրա մեջ լողացող գետնամուշկի սերմերի անկանոն, երբեք չդադարող շարժման վրա: Փորձը կարելի է հեշտությամբ կրկնել, եթե վերցնենք ջրում լուծված տուշի (կամ կաթի) շատ նոսր լուծույթ և դրանից մեկ կաթիլ տեղադրենք մանրադիտակի տակ, որի խոշորացումը 500÷600 անգամ է: Անընդհատ և համասեռ թվացող լուծույթի կաթիլը մանրադիտակի տակ բոլորովին այլ տեսքով է ներկայանում. դիտվում են տարբեր չափերով և անկանոն ձևերով կտորներ, որոնք լողում են անգույն հեղուկում: Այդ կտորները ոչ թե մոլեկուլներ են, այլ մրի կտորներ, որից պատրաստված է տուշը: Եթե ուշադրությունը սևեռենք մրի կտորներից որևէ մեկի՝ այսպես կոչված «բրոունյան մասնիկի» վրա, ապա կտեսնենք, որ այն կատարում է քաոսային շարժում՝ պատահականորեն տեղափոխվելով տարբեր կողմեր: Եթե նշենք բրոունյան մասնիկի դիրքերը հավասար ժամանակամիջոցներից հետո և այնուհետև դրանք միացնենք ուղիղ հատվածներով, ապա կստանանք մի «խճճված» բեկյալ, որը բնութագրում է բրոունյան մասնիկի շարժման քաոսային բնույթը (նկ. 136): Այդ բեկյալը բրոունյան մասնիկի շարժման հետագիծը չէ, որն իրականում շատ ավելի բարդ տեսք ունի:

Բրոունյան շարժման բնույթը կախված չէ բրոունյան մասնիկի նյութից (գետնամուշկի սերմ, տուշի կամ գումիգուտի կտոր և այլն): Ամենազարմանալին այն է, որ բրոունյան շարժումը երբեք չի դադարում, չնայած նրա ուսումնասիրության ժամանակ ձեռք են առնվում բոլոր միջոցները՝ բացառելու հնարավոր արտաքին ազդեցությունները, օրինակ՝ մեխանիկական ցնցումները, հեղուկի անհամասեռ տաքացումը և այլն: Այս փաստերից հետևում է, որ բրոունյան մասնիկների շարժման պատճառը պետք է փնտրել հենց հեղուկում:



Նկ. 136

Բրոունյան շարժման որակական բացատրությունը տրվել է XIX դարի երկրորդ կեսին և այն հետևյալն է: Ջրի մոլեկուլնե-

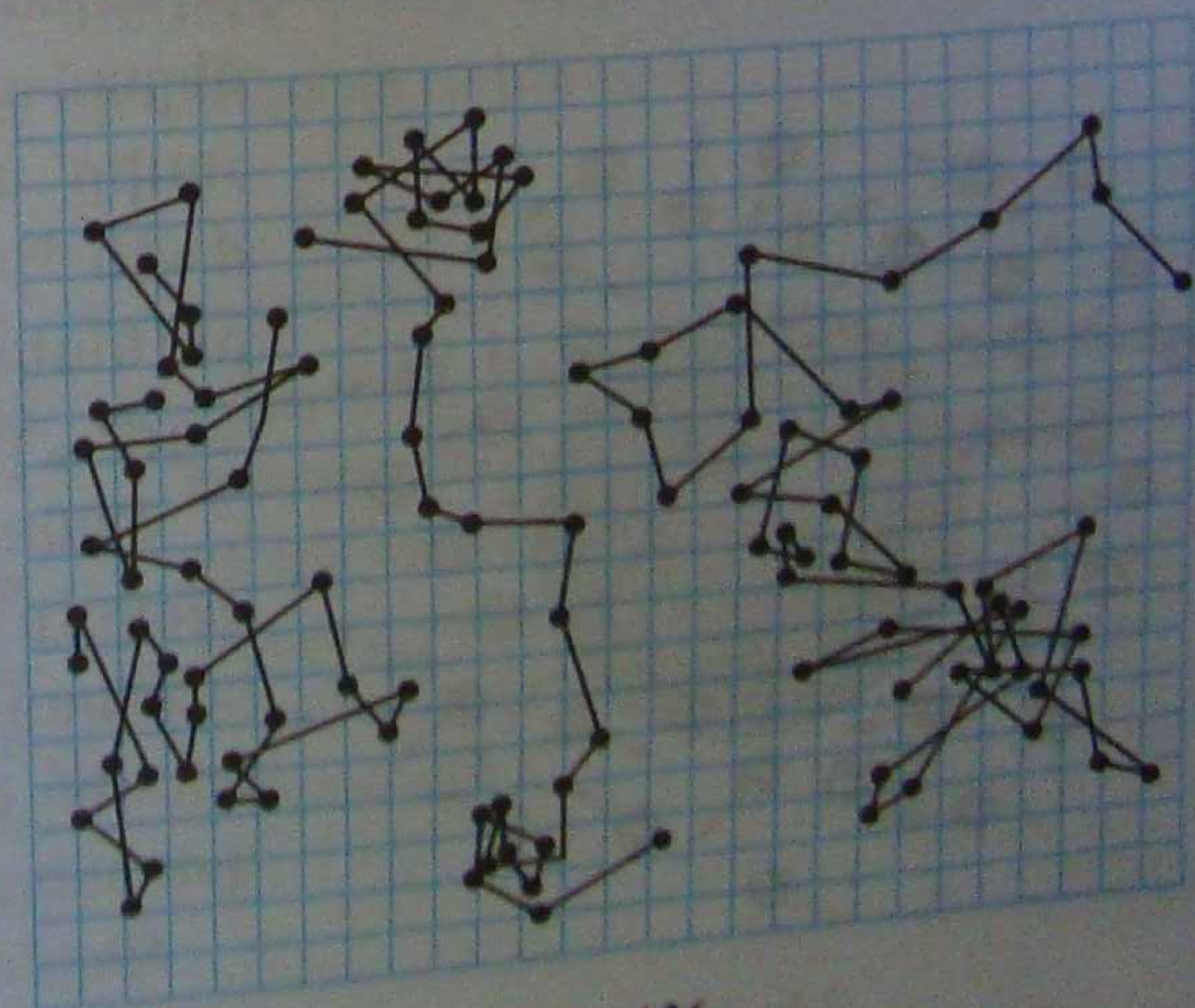
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է զանգվածի ատոմային միավորը (զ.ա.մ.):*
2. *Ի՞նչ է հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը:*
3. *Ի՞նչ է նյութի քանակը և ի՞նչ միավորով է այն արտահայտվում:*
4. *Ինչի՞ է հավասար Ավոգադրոյի հաստատունը:*
5. *Ի՞նչ է մոլային զանգվածը:*
6. *Ինչպե՞ս է որոշվում m զանգվածով մարմնի նյութի քանակը:*

§ 56. Բրոունյան շարժում

Մոլեկուլների գոյության և նրանց քաոսային (ջերմային) շարժման ամենաhամոզիչ ապացույցներից մեկը ***բրոունյան շարժումն*** է, որն առաջին անգամ դիտել է Ռ.Բրոունը 1827 թ.: Մանրադիտակով ուսումնասիրելով ջրի կաթիլը՝ Ռ.Բրոունը ուշադրություն դարձրեց դրա մեջ լողացող գետնամուշկի սերմերի անկանոն, երբեք չդադարող շարժման վրա: Փորձը կարելի է հեշտությամբ կրկնել, եթե վերցնենք ջրում լուծված տուշի (կամ կաթի) շատ նոսր լուծույթ և դրանից մեկ կաթիլ տեղադրենք մանրադիտակի տակ, որի խոշորացումը 500÷600 անգամ է: Անընդհատ և համաչափ թվացող լուծույթի կաթիլը մանրադիտակի տակ բոլորովին այլ տեսքով է ներկայանում. դիտվում են տարբեր չափերով և անկանոն ձևերով կտորներ, որոնք լողում են անգույն հեղուկում: Այդ կտորները ոչ թե մոլեկուլներ են, այլ մրի կտորներ, որից պատրաստված է տուշը: Եթե ուշադրությունը սևեռենք մրի կտորներից որևէ մեկի՝ այսպես կոչված «բրոունյան մասնիկի» վրա, ապա կտեսնենք, որ այն կատարում է քաոսային շարժում՝ պատահականորեն տեղափոխվելով տարբեր կողմեր: Եթե նշենք բրոունյան մասնիկի դիրքերը հավասար ժամանակամիջոցներից հետո և այնուհետև դրանք միացնենք ուղիղ հատվածներով, ապա կստանանք մի «խճճված» բեկյալ, որը բնութագրում է բրոունյան մասնիկի շարժման հետագծի քաոսային բնույթը (նկ. 136): Այդ բեկյալը բրոունյան մասնիկի շարժման հետագիծը չէ, որն իրականում շատ ավելի բարդ տեսք ունի:

Բրոունյան շարժման բնույթը կախված չէ բրոունյան մասնիկի նյութից (գետնամուշկի սերմ, տուշի կամ գումիգուտի կտոր և այլն): Ամենազարմանալին այն է, որ բրոունյան շարժումը երբեք չի դադարում, չնայած նրա ուսումնասիրության ժամանակ ձեռք են առնվում բոլոր միջոցները՝ բացառելու հնարավոր արտաքին ազդեցությունները, օրինակ՝ մեխանիկական ցնցումները, հեղուկի անհամաչափ տաքացումը և այլն: Այս փաստերից հետևում է, որ բրոունյան մասնիկների շարժման պատճառը պետք է փնտրել հենց հեղուկում:



Նկ. 136

Բրոունյան շարժման որակական բացատրությունը տրվել է XIX դարի երկրորդ կեսին և այն հետևյալն է: Ջրի մոլեկուլնե-

Սմոլուխովսկի Մարիան (1872-1917)

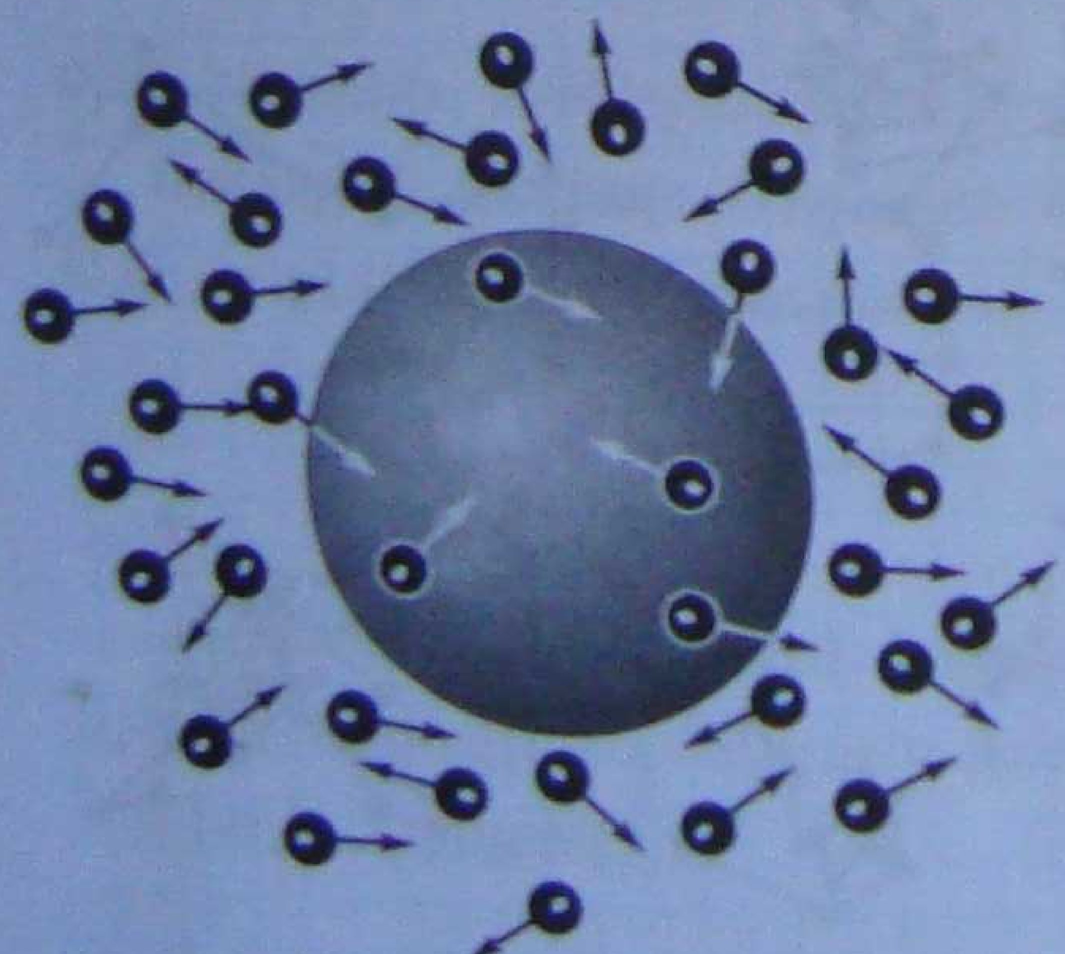


Լեհ ֆիզիկոս. հիմնական աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային, ջերմադինամիկային, գազերի և հեղուկների կինետիկ տեսությանը: 1905-06 թթ. ստեղծել է բրոունյան շարժման տեսությունը և նպաստել մոլեկուլային տեսության հաստատմանը:

բը գտնվում են անընդհատ, ջերմային, քաոսային շարժման մեջ, և ջրում «կախված» նյութի փոքրիկ կտորները՝ բրոունյան մասնիկները, բոլոր կողմերից կրում են շրջապատի (ջրի) մոլեկուլների հարվածները (նկ. 137): Տվյալ պահին մի կողմից կատարվող հարվածների ուժը կարող է մեծ լինել հակառակ ուղղությամբ կատարվող հարվածների ուժից, ուստի բրոունյան մասնիկը մի շատ կարճ ժամանակամիջոց կշարժվի համազոր ուժի ազդեցությամբ: Սակայն կարճ ժամանակ անց բրոունյան մասնիկի վրա ազդող համազոր ուժը պատահականորեն կփոխի և՛ ուղղությունը, և՛ մոդուլը, ուստի կտրուկ կփոխվի նաև մասնիկի շարժման ուղղությունը: Հասկանալի է, որ տարբեր կողմերից հարվածների ուժերի փոքր տարբերությունը կարող է փոփոխել միայն բավականաչափ փոքր մասնիկի շարժման արագությունը: Այսպիսով՝ բրոունյան մասնիկը տեղեկություններ է «հաղորդում» հեղուկի մոլեկուլների շարժման մասին. նրա շարժման պատահական, քաոսային բնույթը «բացահայտում» է միջավայրի մասնիկների անընդհատ, քաոսային շարժումը, ինչն անմիջականորեն հնարավոր չէ դիտել միջավայրի մասնիկների՝ մոլեկուլների չափազանց փոքր լինելու պատճառով:

Եթե հեղուկում գտնվող մասնիկի չափերը համեմատաբար մեծ են, ապա մեծ զանգվածի և, հետևաբար, մեծ իներտության հետևանքով մասնիկն այլևս չի կարող «արձագանքել» արագ և պատահական ձևով փոփոխվող ուժին և կգտնվի դադարի վիճակում:

Այժմ կարող ենք հստակորեն սահմանել ***բրոունյան մասնիկ*** հասկացությունը: Մի կողմից ***բրոունյան մասնիկը պետք է լինի այնքան մեծ, որ տեսանելի լինի մանրադիտակի միջոցով*** (օրինակ՝ 500÷600 անգամ խոշորացնելիս): Մյուս կողմից, ***այն պետք է լինի այնքան փոքր, որ կարողանա «ենթարկվել» միջավայրի մասնիկների կողմից նրա վրա ազդող ուժերի արագ, պատահական ձևով փոփոխվող, փոքր համազոր ուժի ազդեցությանը:*** Այսպիսով՝ բրոունյան մասնիկը շատ ավելի մեծ է, քան միջավայրի մոլեկուլները: Դրանում կարելի է համոզվել հետևյալ թվային գնահատման օգնությամբ: Փորձերում դիտվող բրոունյան մասնիկի բնութագրական չափը՝ $d_B \approx 10^{-6}$ մ է, իսկ մոլեկուլների չափերը՝ $d \approx 10^{-10} \div 10^{-9}$մ, ուստի բրոունյան մասնիկում պարունակվող մոլեկուլների թիվը՝ $N_B \approx d_B^3/d^3 \approx 10^9 \div 10^{12}$:



Նկ. 137

Քննարկված օրինակում բրոունյան շարժումը տեղի էր ունենում հեղուկում: Սակայն այն տեղի է ունենում նաև գազերում. օրինակ՝ բրոունյան շարժում են կատարում ծխում գտնվող ածխի փոքրիկ կտորները, փոշու հատիկները:

Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ բրոունյան շարժման ուժգնությունն աճում է, բրոունյան մաս-



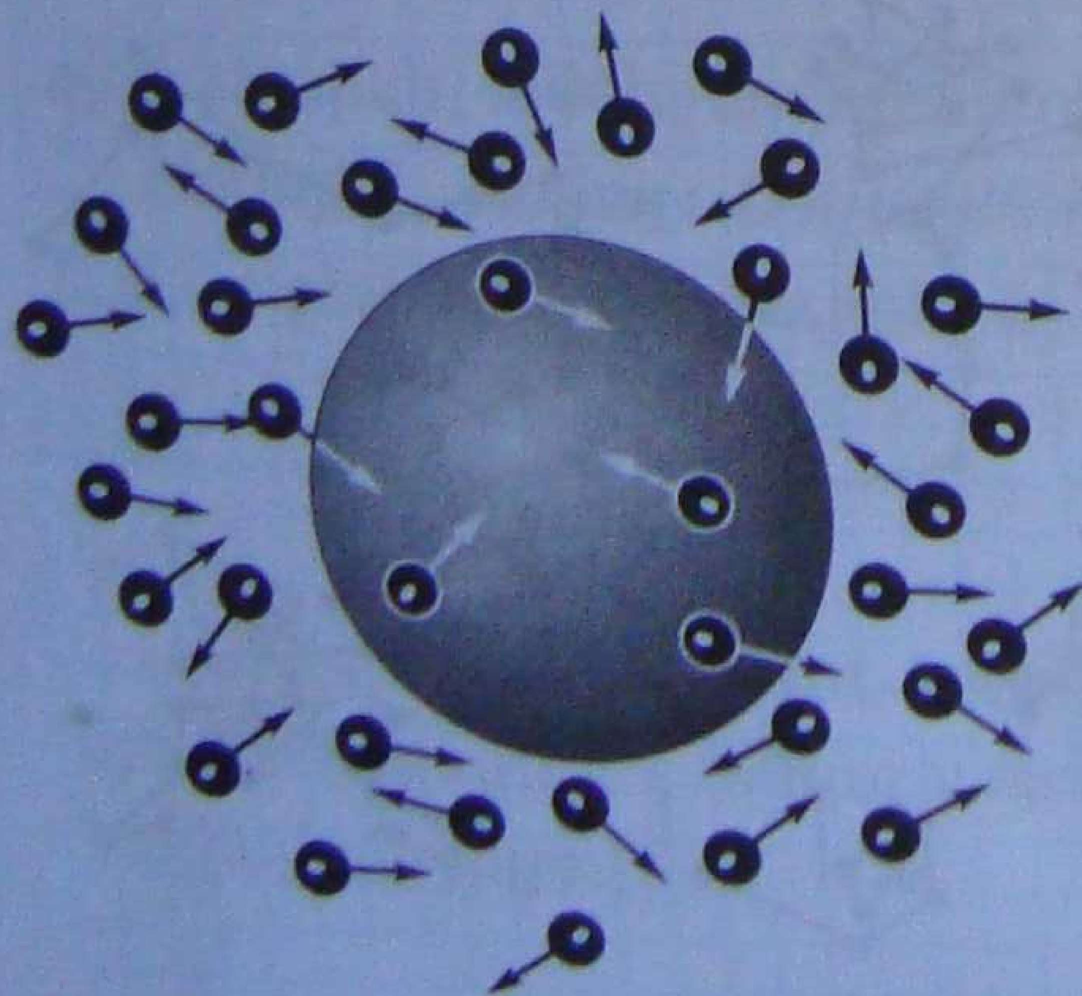
Սմոլուխովսկի Մարիան (1872–1917)

Լեհ ֆիզիկոս. հիմնական աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային, ջերմադինամիկային, գազերի և հեղուկների կինետիկ տեսությանը: 1905-06 թթ. ստեղծել է բրոունյան շարժման տեսությունը և նպաստել մոլեկուլային տեսության հաստատմանը:

րը գտնվում են անընդհատ, ջերմային, քաոսային շարժման մեջ, և ջրում «կախված» նյութի փոքրիկ կտորները՝ բրոունյան մասնիկները, բոլոր կողմերից կրում են շրջապատի (ջրի) մոլեկուլների հարվածները (նկ. 137): Տվյալ պահին մի կողմից կատարվող հարվածների ուժը կարող է մեծ լինել հակառակ ուղղությամբ կատարվող հարվածների ուժից, ուստի բրոունյան մասնիկը մի շատ կարճ ժամանակամիջոց կշարժվի համազոր ուժի ազդեցությամբ: Սակայն կարճ ժամանակ անց բրոունյան մասնիկի վրա ազդող համազոր ուժը պատահականորեն կփոխի և՛ ուղղությունը, և՛ մոդուլը, ուստի կտրուկ կփոխվի նաև մասնիկի շարժման ուղղությունը: Հասկանալի է, որ տարբեր կողմերից հարվածների ուժերի փոքր տարբերությունը կարող է փոփոխել միայն բավականաչափ փոքր մասնիկի շարժման արագությունը: Այսպիսով՝ բրոունյան մասնիկը տեղեկություններ է «հաղորդում» հեղուկի մոլեկուլների շարժման մասին. նրա շարժման պատահական, քաոսային բնույթը «բացահայտում» է միջավայրի մասնիկների անընդհատ, քաոսային շարժումը, ինչն անմիջականորեն հնարավոր չէ դիտել միջավայրի մասնիկների՝ մոլեկուլների չափազանց փոքր լինելու պատճառով:

Եթե հեղուկում գտնվող մասնիկի չափերը համեմատաբար մեծ են, ապա մեծ զանգվածի և, հետևաբար, մեծ իներտության հետևանքով մասնիկն այլևս չի կարող «արձագանքել» արագ և պատահական ձևով փոփոխվող ուժին և կգտնվի դադարի վիճակում:

Այժմ կարող ենք հստակորեն սահմանել ***բրոունյան մասնիկ*** հասկացությունը: Մի կողմից ***բրոունյան մասնիկը պետք է լինի այնքան մեծ, որ տեսանելի լինի մանրադիտակի միջոցով*** (օրինակ՝ 500÷600 անգամ խոշորացնելիս): Մյուս կողմից, ***այն պետք է լինի այնքան փոքր, որ կարողանա «ենթարկվել» միջավայրի մասնիկների կողմից նրա վրա ազդող ուժերի արագ, պատահական ձևով փոփոխվող, փոքր համազոր ուժի ազդեցությանը:*** Այսպիսով՝ բրոունյան մասնիկը շատ ավելի մեծ է, քան միջավայրի մոլեկուլները: Դրանում կարելի է համոզվել հետևյալ թվային գնահատման օգնությամբ: Փորձերում դիտվող բրոունյան մասնիկի բնութագրական չափը՝ $d_B \approx 10^{-6}$ մ է, իսկ մոլեկուլների չափերը՝ $d \approx 10^{-10} \div 10^{-9}$մ, ուստի բրոունյան մասնիկում պարունակվող մոլեկուլների թիվը՝ $N_B \approx d_B^3/d^3 \approx$ $\approx 10^9 \div 10^{12}$:



Նկ. 137

Քննարկված օրինակում բրոունյան շարժումը տեղի էր ունենում հեղուկում: Սակայն այն տեղի է ունենում նաև գազերում. օրինակ՝ բրոունյան շարժում են կատարում ծխում գտնվող ածխի փոքրիկ կտորները, փոշու հատիկները:

Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ բրոունյան շարժման ուժգնությունն աճում է, բրոունյան մաս-



Պեռեն Ժան (1870-1942)

Ֆրանսիացի փորձարար ֆիզիկոս. կատարել է բրոունյան շարժման ուսումնասիրություններ (1908թ.), որոնք հաստատել են Ա. Այնշտայնի և Մ. Սմոլուխովսկու տեսությունը և ուղղակիորեն ապացուցել մոլեկուլների գոյությունը: Փորձերի հիման վրա որոշել է Ավոգադրոյի հաստատունը: Նոբելյան մրցանակի դափնեկիր (1926թ.):

նիկի` հաջորդական դիրքերը միացնող բեկյալը դառնում է ավելի խճճված և անկանոն բնույթ ունեցող: Այս փաստը մեկ անգամ ևս դրսևորում է բրոունյան մասնիկի և միջավայրի մոլեկուլների ջերմային շարժման սերտ կապը:

Ներկայումս «բրոունյան շարժում» հասկացությանը տրվում է ավելի լայն բնույթ, քան միայն հեղուկում կամ գազում «կախված» մասնիկի շարժումն է: Այն ընկալվում է որպես որոշակի ֆիզիկական մեծության պատահական շեղումներ, որոնց պատճառը միջավայրի մասնիկների պատահական ջերմային (քաոսային) շարժումն է: Բրոունյան շարժման օրինակ է զգայուն չափիչ սարքերի սլաքների «դողդողալը», որը պայմանավորված է ինչպես սարքի մասերի ատոմների ջերմային շարժմամբ, այնպես էլ շրջապատող օդի մոլեկուլների հարվածներով:

Բրոունյան շարժման մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը ստեղծել են Ա. Այնշտայնը (1905 թ.) և Մ. Սմոլուխովսկին (1906 թ.), իսկ այն փորձով հաստատել է Ժ. Պեռենը:

Ինչպես արդեն նշել ենք, պատահական բնույթ ունեցող ջերմային (անկանոն) շարժումները ենթարկվում են որոշակի և հստակ օրինաչափությունների: Այսպես, ըստ Ա.Այնշտայնի, t ժամանակամիջոցում բրոունյան մասնիկի արդյունարար, այսինքն` բազմաթիվ բախումների արդյունքում որոշակի ուղղությամբ կատարված տեղափոխության մոդուլը`

$$|\Delta x| \sim \sqrt{t}\ , \qquad (12.11)$$

որն էապես տարբերվում է ինչպես հավասարաչափ շարժման դեպքում դիտվող $|\Delta x| \sim t$, այնպես էլ հավասարաչափ արագացող շարժման դեպքում դիտվող $|\Delta x| \sim t^2$ կախումներից: Այսպիսով` չնայած բրոունյան մասնիկը կատարում է պատահական, անկանոն շարժում, սակայն նրա տեղափոխության մոդուլն x ուղղությամբ տրվում է (12.11) առնչությամբ, որը վիճակագրական օրենքի մի կոնկրետ օրինակ է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր շարժումն են անվանում բրոունյան շարժում:*
2. *Տվե՛ք բրոունյան մասնիկի սահմանումը:*
3. *Կարելի՞ է արդյոք հավասար Δt ժամանակամիջոցներից հետո բրոունյան մասնիկի հաջորդական դիրքերն իրար միացնող բեկյալն անվանել բրոունյան մասնիկի հետագիծ:*
4. *Ինչու՞ է նկատելի միայն մանրադիտակով երևացող բավականաչափ փոքր մասնիկի բրոունյան շարժումը:*
5. *Ինչպե՞ս է բրոունյան մասնիկի շարժման ուժգնությունը կախված միջավայրի ջերմաստիճանից:*

§ 57. Դիֆուզիան գազերում, հեղուկներում և պինդ մարմիններում

Մոլեկուլների և ատոմների երբեք չդադարող քաոսային շարժման համոզիչ ապացույցներից մեկն էլ ***դիֆուզիայի*** երևույթն է, երբ ***տարբեր նյութեր ինքնաբերաբար, այսինքն՝ առանց արտաքին գործոնների ազդեցության, միախառնվում են*** (լատիներեն «դիֆուզիա»՝ տարածում բառից): Դիֆուզիայի երևույթն ուսումնասիրենք փորձերի օգնությամբ:

Եթե ջրով լցված բաժակի մեջ զգուշությամբ կաթեցնենք սննդային ներկանյութի մի կաթիլ, ապա կտեսնենք, որ ջուրն աստիճանաբար ներկվում է: Այս պրոցեսը կարող է տևել ժամեր, անգամ՝ օրեր, և արդյունքում ստացվում է միագույն ներկված համասեռ հեղուկ (նկ. 138): Ներկանյութի խառնվելը ջրի հետ տեղի է ունենում ինքնաբերաբար, առանց արտաքին միջամտության:

Դիֆուզիան գազերում կատարվում է զգալիորեն արագ, քան հեղուկներում: Դիֆուզիայի հանրահայտ օրինակներ են օծանելիքի հոտի տարածումը սենյակում, ծխի տարածումը օդում:

Եթե ապակե գլանի մեջ կաթեցնենք բրոմի մի քանի կաթիլ և գլանն արագ փակենք, ապա կտեսնենք, թե ինչպես գլանում օդն աստիճանաբար, ներքևից վերև լցվում է բրոմի շագանակագույն գոլորշիներով: Կարևոր է այն հանգամանքը, որ օդի և բրոմի գոլորշիների խառնվելը ծանրության ուժի շնորհիվ չի կատարվում, քանի որ բրոմի գոլորշիներն առաջանում են օդի շերտի ստորին մասում:

Դիֆուզիայի երևույթը տեղի ունի նաև պինդ մարմինների միջև, սակայն սենյակային ջերմաստիճաններում այն ընթանում է չափազանց դանդաղ: Այսպես, մի փորձում 20°C-ում իրար կից սեղմված կապարի և ոսկու թիթեղների միջև 4 տարվա ընթացքում առաջացել է ընդամենը մոտ 5 մմ հաստությամբ անցումային շերտ:

Դիֆուզիայի երևույթը դիտվում է նաև գազերի և պինդ մարմինների միջև: Օրինակ՝ ջրածինը հեշտությամբ անցնում է տաքացված մետաղների (մասնավորապես՝ պալադիումի) միջով:

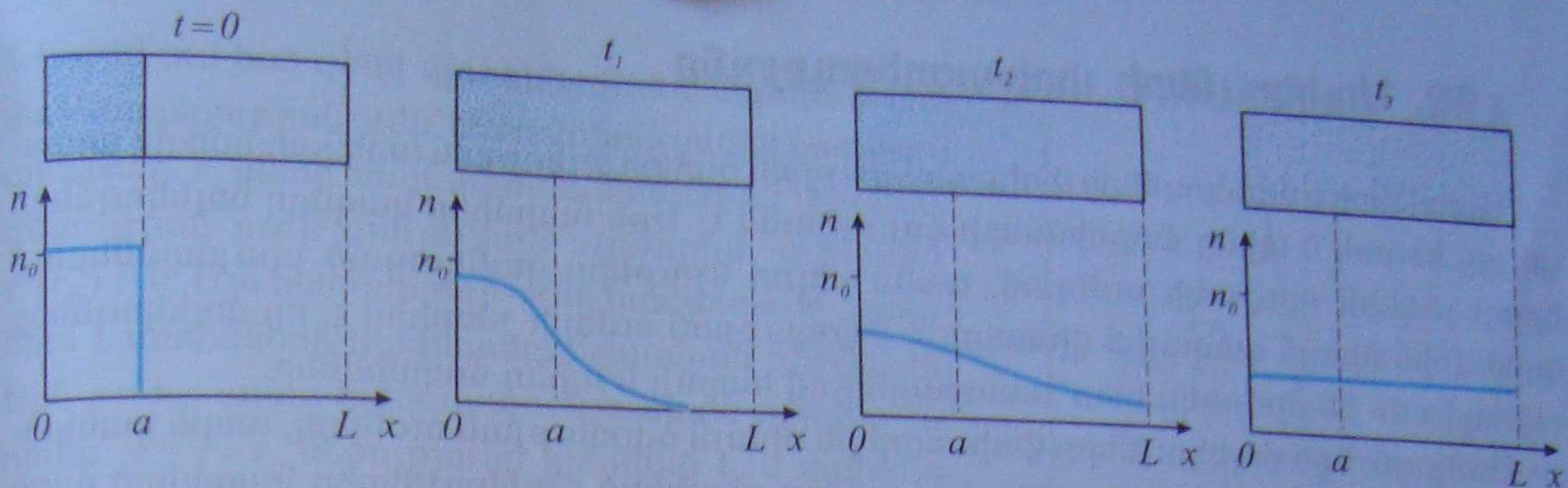
Դիֆուզիայի երևույթը բացատրվում է նյութերը կազմող մոլեկուլների քաոսային շարժմամբ: Մի նյութի մոլեկուլները, շարժվելով քաոսայնորեն և բախվելով միմյանց, թափանցում են մյուս նյութի միջմոլեկուլային տարածությունները, ինչը հանգեցնում է նյութերի փոխադարձ ներթափանցման և, ի վերջո, համասեռ խառնուրդի առաջացման:

Ինչպես բխում է դիտարկված փորձերից, ***դիֆուզիայի արագությունը կախված է ներթափանցող նյութերի խտությունից***: Որքան փոքր է նյութի խտությունը, այնքան մեծ են միջմոլեկուլային հեռավորությունները, ուստի և փոխադարձ ներթափանցումն արագ է կատարվում:



Նկ. 138

Դիֆուզիայի արագությունը կախված է նաև նյութի ագրեգատային վիճակից: Իրոք, հեղուկների և պինդ մարմինների խտությունները գրեթե նույն կարգի մեծություններ են, սակայն հեղուկներում դիֆուզիան ընթանում է մի քանի հազար անգամ ավելի արագ, քան պինդ մարմիններում:



Նկ. 139

Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց դիֆուզիայի արագությունը մեծանում է, ինչը պայմանավորված է մոլեկուլների ջերմային շարժման արագությունների մեծացմամբ:

Դիֆուզիան ընթանում է այնպես, որ տվյալ նյութի կոնցենտրացիան խառնուրդին ընձեռված ծավալում ամենուրեք ունենա միևնույն արժեքը, ընդ որում, սա վերաբերում է դիֆուզիային մասնակցող բոլոր նյութերին: Նկ. 139-ում պատկերված է օդում օծանելիքի կոնցենտրացիայի կախումը կոորդինատից ժամանակի տարբեր պահերին (պարզության համար անտեսում օդի մոլեկուլները չեն պատկերված: $t = 0$ պահին օծանելիքի մոլեկուլները զբաղեցնում են 0 -ից մինչև a տիրույթը):

Դիֆուզիայի երևույթի կիրառությունները: Դիֆուզիայի երևույթն ունի բազմաբնույթ կիրառություններ: Ներկայումս արդյունաբերության մեջ կիրառվում է վակուումում դիֆուզային եռակցման մեթոդը, որը հնարավորություն է տալիս եռակցելու այնպիսի նյութեր, որոնք այլ եղանակներով եռակցել հնարավոր չէ, օրինակ՝ պողպատն ալյումինի կամ տիտանի հետ, մետաղը՝ խեցեղենի (կերամիկայի) հետ:

Մետաղագործության մեջ դիֆուզիայի երևույթի միջոցով կատարվում է մետաղների և համաձուլվածքների մակերևույթների հարստացում ազոտով (այսպես կոչված, ազոտացում), ինչը դետալների մակերևույթին հաղորդում է արտակարգ բարձր ամրություն, որն ընդհուպ մինչև $600 \div 650^{O}C$ ջերմաստիճանում պահպանվում է, ինչպես նաև հակակոռոզիականություն և մաշակայունություն:

Դիֆուզիայի երևույթը մեծ դեր է խաղում կենդանիների և բույսերի կյանքում: Այն ապահովվում է բույսերի արմատներով ջրի ներծծումը, սննդի յուրացումը և մնացորդների հեռացումը բույսերի և կենդանիների բջիջներից: Մարդու և կենդանիների թոքերում, թոքաբշտիկների պատերի միջով կատարվող դիֆուզիայի շնորհիվ, թթվածինն օդից անցնում է արյան մեջ և, լուծվելով նրանում, հասնում է օրգանիզմի բոլոր մասերին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն են անվանում դիֆուզիա:*
2. *Ինչպե՞ս է դիֆուզիայի արագությունը կախված ջերմաստիճանից:*
3. *Ինչո՞ւ դիֆուզիան ավելի արագ է ընթանում գազերում, քան հեղուկներում:*
4. *Արդյոք հնարավո՞ր է դիֆուզիա գազերի և հեղուկների, գազերի և պինդ մարմինների, հեղուկների և պինդ մարմինների միջև:*

§ 58. Մոլեկուլների փոխազդեցությունը

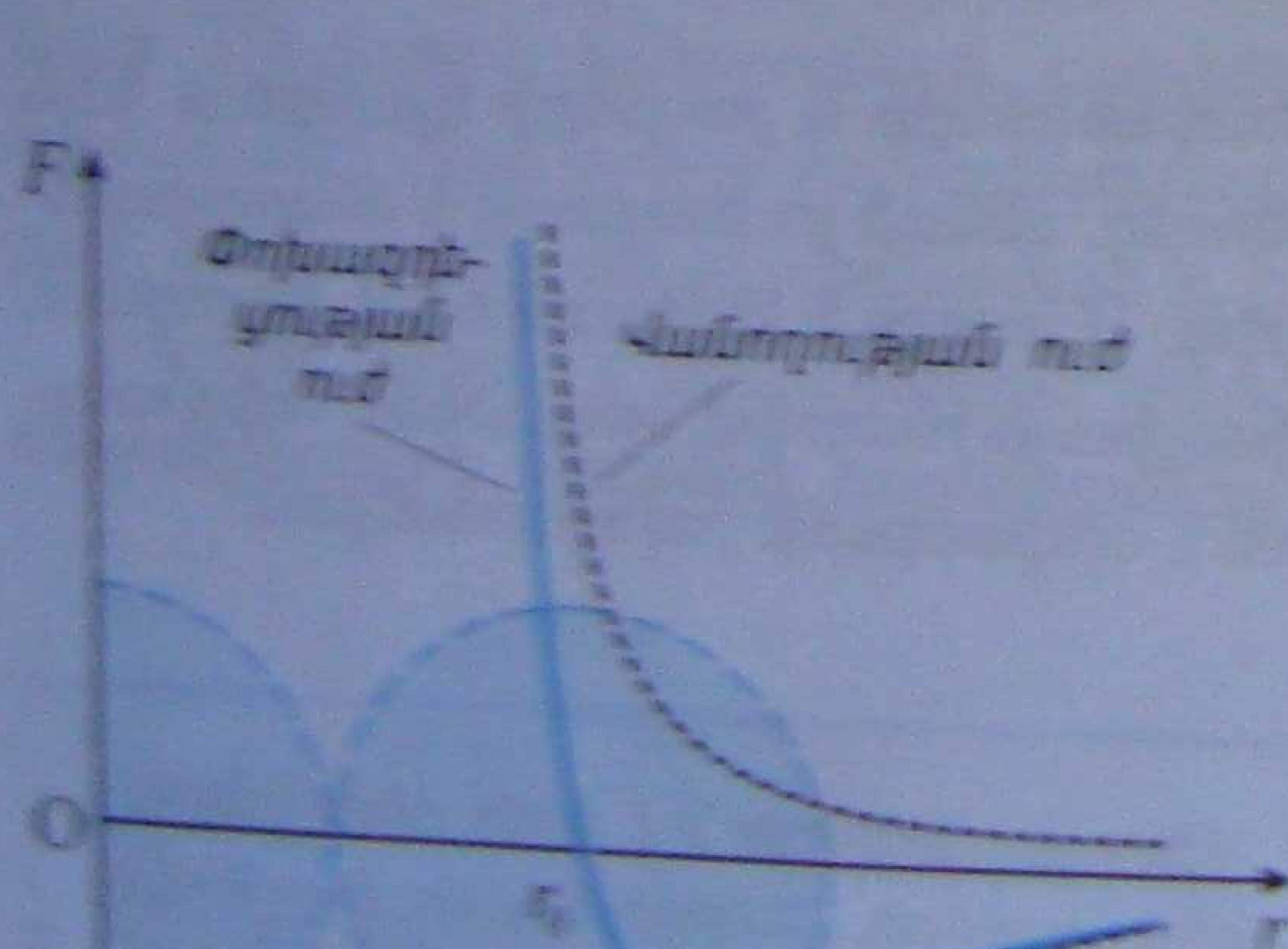
Ատոմների և մոլեկուլների փոխազդեցության ուժերի գոյության ամենահամոզիչ ապացույցը հեղուկ և պինդ մարմինների գոյությունն է: Եթե մարմինը կազմող մոլեկուլները չձգեին իրար որոշակի ուժերով, ապա բոլոր նյութերը ցանկացած պայմաններում կգտնվեին միայն գազային վիճակում: Ձգողության ուժերի շնորհիվ է, որ մոլեկուլները «կապվում» են միմյանց հետ՝ առաջացնելով հեղուկ և պինդ մարմիններ:

Սակայն, եթե մոլեկուլները փոխազդեին միայն ձգողության ուժերով, ապա ցանկացած մարմին, ի վերջո, կընդուներ իրար կիպ սեղմված մոլեկուլներից կազմված գնդի տեսք: Հետևաբար, փոքր հեռավորությունների վրա մոլեկուլների միջև գործում են նաև վանողության ուժեր, որոնք խոչընդոտում են նրանց էլ ավելի մերձեցմանը: Այսպիսով՝ մոլեկուլների փոխազդեցության կամ, ինչպես ընդունված է անվանել, մոլեկուլային ուժերն ունեն և՛ ձգողական, և՛ վանողական բնույթ:

Մոլեկուլային ուժերի առանձնահատկություններն ուսումնասիրվում են ատոմային ֆիզիկայում, սակայն նրանց բնույթը կարելի է որակապես բացատրել՝ հիմնվելով ատոմի կառույցի մասին VII դասարանի ֆիզիկայի և քիմիայի դասընթացներից հայտնի տեղեկությունների վրա:

Ինչպես գիտենք, ատոմը կազմված է դրական լիցք ունեցող միջուկից և բացասական լիցք ունեցող էլեկտրոններից և էլեկտրաչեզոք է: Սակայն ***էլեկտրաչեզոք ատոմների (մոլեկուլների) փոխազդեցության ուժերը պայմանավորված են հարևան ատոմների էլեկտրոնների և միջուկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությամբ***: Մի ատոմի էլեկտրոնների և մյուս ատոմի միջուկի միջև գործում են ձգողության ուժեր, իսկ երկու ատոմների էլեկտրոնները, ինչպես նաև ատոմային միջուկներն իրար վանում են: Արդյունքում ատոմների միջև փոխազդեցության ուժերի համազորը՝ մոլեկուլային ուժը, կարող է լինել ինչպես ձգողական, այնպես էլ՝ վանողական:

Երբ երկու միատեսակ ատոմների r հեռավորությունը դառնում է ավելի փոքր, քան ատոմի d տրամագիծը՝ $r < d$, այդ ատոմների բացասական լիցքավորված էլեկտրոնային թաղանթների վերադրման արդյունքում վանողության ուժերը կտրուկ աճում են:



Նկ. 140

Երբ $r > d$, վանողության ուժերն արագորեն փոքրանում են և $2d \div 3d$ հեռավորությունների վրա գործնականորեն անհետանում (նկ. 140): Փոքր՝ $r < d$ հեռավորությունների դեպքում ձգողության ուժերը նույնպես մեծանում են, սակայն ավելի դանդաղ, քան վանողության ուժերը: Այսպիսով, երբ $r < d$, մոլեկուլային փոխազդեցությունը վանողական բնույթ ունի ($F > 0$, նկ. 140):

Ատոմների հեռավորությունը մեծացնելիս ձգողության ուժերը նվազում են վանողության ուժերից դանդաղ և $r > d$ դեպքում մեծությամբ գերազանցում վանողության ուժերին, այնպես որ փոխազդեցության համազոր ուժն ունենում է ձգողական բնույթ ($F < 0$):

§ 58. Մոլեկուլների փոխազդեցությունը

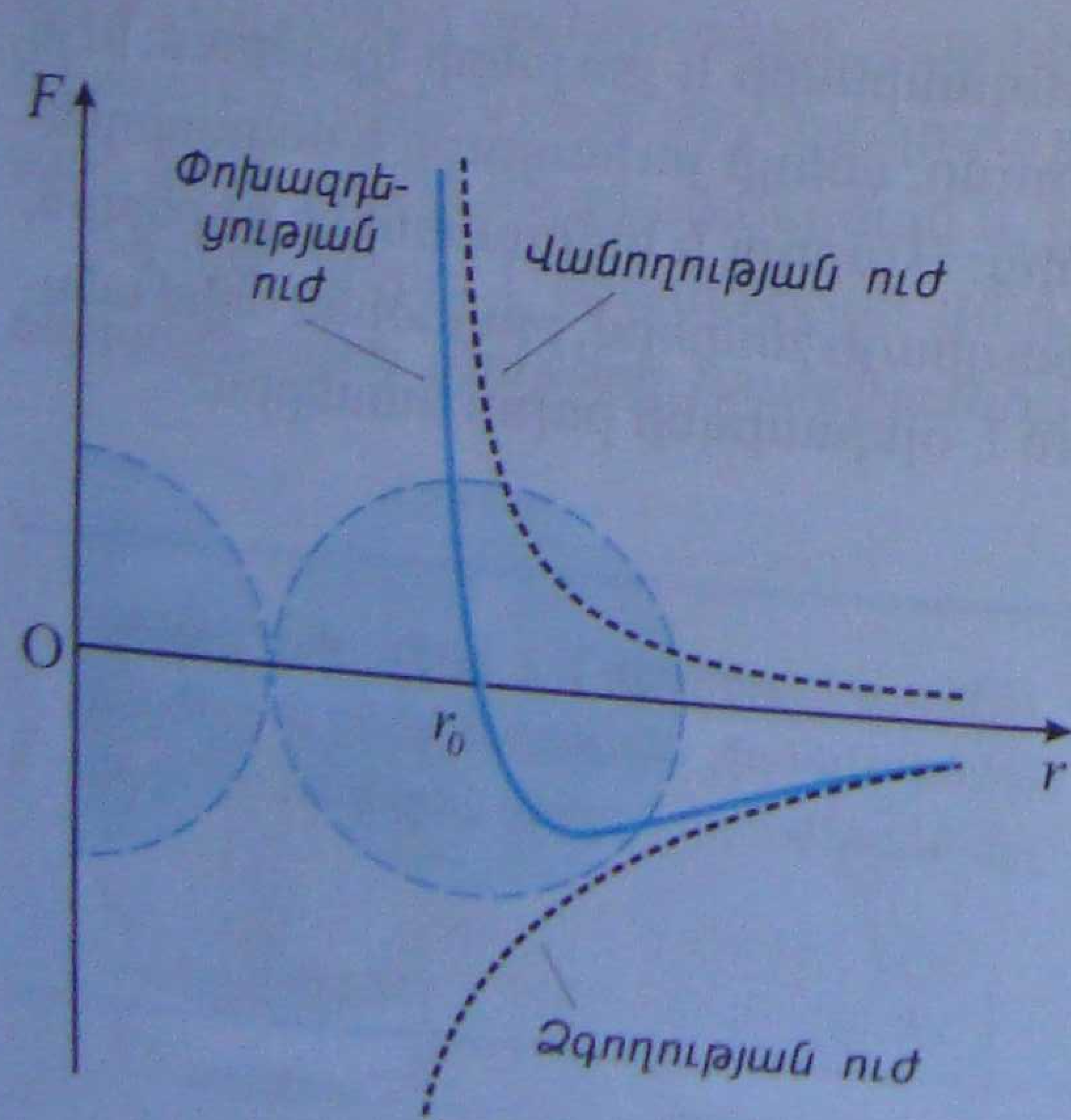
Ատոմների և մոլեկուլների փոխազդեցության ուժերի գոյության ամենահամոզիչ ապացույցը հեղուկ և պինդ մարմինների գոյությունն է: Եթե մարմինը կազմող մոլեկուլներն իրար չձգեին որոշակի ուժերով, ապա բոլոր նյութերը ցանկացած պայմաններում կգտնվեին միայն գազային վիճակում: Ձգողության ուժերի շնորհիվ է, որ մոլեկուլները «կապվում» են միմյանց հետ՝ առաջացնելով հեղուկ և պինդ մարմիններ:

Սակայն, եթե մոլեկուլները փոխազդեին միայն ձգողության ուժերով, ապա ցանկացած մարմին, ի վերջո, կընդուներ իրար կիպ սեղմված մոլեկուլներից կազմված գնդի տեսք: Հետևաբար, փոքր հեռավորությունների վրա մոլեկուլների միջև գործում են նաև վանողության ուժեր, որոնք խոչընդոտում են նրանց էլ ավելի մերձեցմանը: Այսպիսով՝ մոլեկուլների փոխազդեցության կամ, ինչպես ընդունված է անվանել, մոլեկուլային ուժերն ունեն և՛ ձգողական, և՛ վանողական բնույթ:

Մոլեկուլային ուժերի առանձնահատկություններն ուսումնասիրվում են ատոմային ֆիզիկայում, սակայն նրանց բնույթը կարելի է որակապես բացատրել՝ հիմնվելով ատոմի կառույցի մասին VII դասարանի ֆիզիկայի և քիմիայի դասընթացներից հայտնի տեղեկությունների վրա:

Ինչպես գիտենք, ատոմը կազմված է դրական լիցք ունեցող միջուկից և բացասական լիցք ունեցող էլեկտրոններից և էլեկտրաչեզոք է: Սակայն ***էլեկտրաչեզոք ատոմների (մոլեկուլների) փոխազդեցության ուժերը պայմանավորված են հարևան ատոմների էլեկտրոնների և միջուկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությամբ***: Մի ատոմի էլեկտրոնների և մյուս ատոմի միջուկի միջև գործում են ձգողության ուժեր, իսկ երկու ատոմների էլեկտրոնները, ինչպես նաև ատոմային միջուկներն իրար վանում են: Արդյունքում ատոմների միջև փոխազդեցության ուժերի համազորը՝ մոլեկուլային ուժը, կարող է լինել ինչպես ձգողական, այնպես էլ՝ վանողական:

Երբ երկու միատեսակ ատոմների r հեռավորությունը դառնում է ավելի փոքր, քան ատոմի d տրամագիծը՝ $r < d$, այդ ատոմների բացասական լիցքավորված էլեկտրոնային թաղանթների վերադրման արդյունքում վանողության ուժերը կտրուկ աճում են:



Նկ. 140

Երբ $r > d$, վանողության ուժերն արագորեն փոքրանում են և $2d \div 3d$ հեռավորությունների վրա գործնականորեն անհետանում (նկ. 140): Փոքր՝ $r < d$ հեռավորությունների դեպքում ձգողության ուժերը նույնպես մոդուլով աճում են, սակայն ավելի դանդաղ, քան վանողության ուժերը: Այսպիսով, երբ $r < d$, մոլեկուլային փոխազդեցությունը վանողական բնույթ ունի ($F > 0$, նկ. 140):

Ատոմների հեռավորությունը մեծացնելիս ձգողության ուժերը նվազում են վանողության ուժերից դանդաղ և $r > d$ դեպքում մոդուլով գերազանցում վանողության ուժերին, այնպես որ փոխազդեցության համազոր ուժն ունենում է ձգողական բնույթ ($F < 0$):

Նկ. 140-ում հոծ գծով պատկերված է մոլեկուլային փոխազդեցության ուժի՝ հեռավորությունից կախման գրաֆիկը: r_0 կետը համապատասխանում է փոխազդեցության ուժի զրոյական արժեքին, այսինքն՝ $F(r_0)=0$: Այս հեռավորությունը համապատասխանում է ատոմների հավասարակշռական դիրքերին: Երբ $r>r_0$, ապա հավասարակշռական դիրքից շեղումը՝ $x=r-r_0$ մեծությունը դրական է, և փոխազդեցության ուժը ձգողական բնույթի է ($F<0$): Երբ $r<r_0$, ապա $x=r-r_0<0$, և փոխազդեցության ուժը վանողական բնույթի է ($F>0$): Ինչպես երևում է նկ. 141-ից, որտեղ մեծացված մասշտաբով պատկերված է փոխազդեցության ուժի վարքը r_0 կետի շուրջ փոքր տիրույթում, այն շատ քիչ է տարբերվում ուղիղ գծից, որի հավասարումն է $F=-kx=-k(r-r_0)$: Ստացված առնչությունը Հուկի օրենքի ընդհանուր արտահայտությունն է $|x|<<r_0$ հեռավորությունների համար: Գրաֆիկից ակնհայտ է, որ r_0 կետից մեծ շեղումների դեպքում $F(r)$ կորը զգալիորեն տարբերվում է ուղղից, այսինքն՝ համեմատաբար մեծ $|x|$ շեղումների դեպքում Հուկի օրենքը տեղի չունի:

Նկ. 141

Մոլեկուլային ուժերը կարճազդեցության ուժեր են, այսինքն՝ նրանք գործում են միայն համեմատաբար փոքր՝ ատոմի տրամագծի կարգի հեռավորությունների վրա: Դա է պատճառը, որ կոտրված առարկան, օրինակ՝ բաժակը, չի ամբողջանա, եթե նրա կտորները կիպ հպենք իրար: Բանն այն է, որ հպելիս կտորներն իրար անմիջականորեն մոտենում են միայն փոքրաթիվ կետերում, որտեղ գործող ձգողության ուժերը բավարար չեն կտորներն իրար ամուր կպցնելու համար (նկ. 142,ա. առարկայի տարբեր մասերի՝ միմյանց հետ փոխազդող մասնիկները նշված են մուգ գույնով): Կտորներն իրար կպցնելու համար անհրաժեշտ է մեծացնել անմիջական հպման կետերի թիվը, այսինքն՝ կա՛մ մակերևույթները շատ հարթեցնել, կա՛մ դրանք փափկացնել և կիպ սեղմել իրար, որպեսզի ձգողության ուժերը գործեն բոլոր ատոմների (մոլեկուլների) միջև (նկ. 142,բ):

Ոչ մեծ հեռավորությունների վրա մեծ ձգողության ուժերի գոյությունն օգտագործվում է փոշեմետաղագործության մեթոդով տարբեր դետալներ պատրաստելու համար: Մեծ ճնշման տակ տարբեր նյութերի փոշիներ սեղմելով՝ դրանց մոլեկուլները մոտենում են այնքան, մինչև որ վերջիններս սկսում են փոխազդել հզոր ձգողության ուժերով, և փոշին վերածվում է չափազանց ամուր դետալի:


ա


բ

Նկ. 142

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչո՞վ են պայմանավորված միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերը:*
2. *Ինչպե՞ս են միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերը կախված մասնիկների միջև հեռավորություններից:*
3. *Ի՞նչ փոխհարաբերության մեջ են գտնվում ատոմների (մոլեկուլների) ձգողության և վանողության ուժերի մոդուլները՝*
   ա) պինդ մարմինը սեղմելիս,
   բ) պինդ մարմինը ձգելիս:
4. *Բացատրե՛ք ստանձման երևույթը:*

§ 59. Գազային, հեղուկ և պինդ մարմինների կառուցվածքը

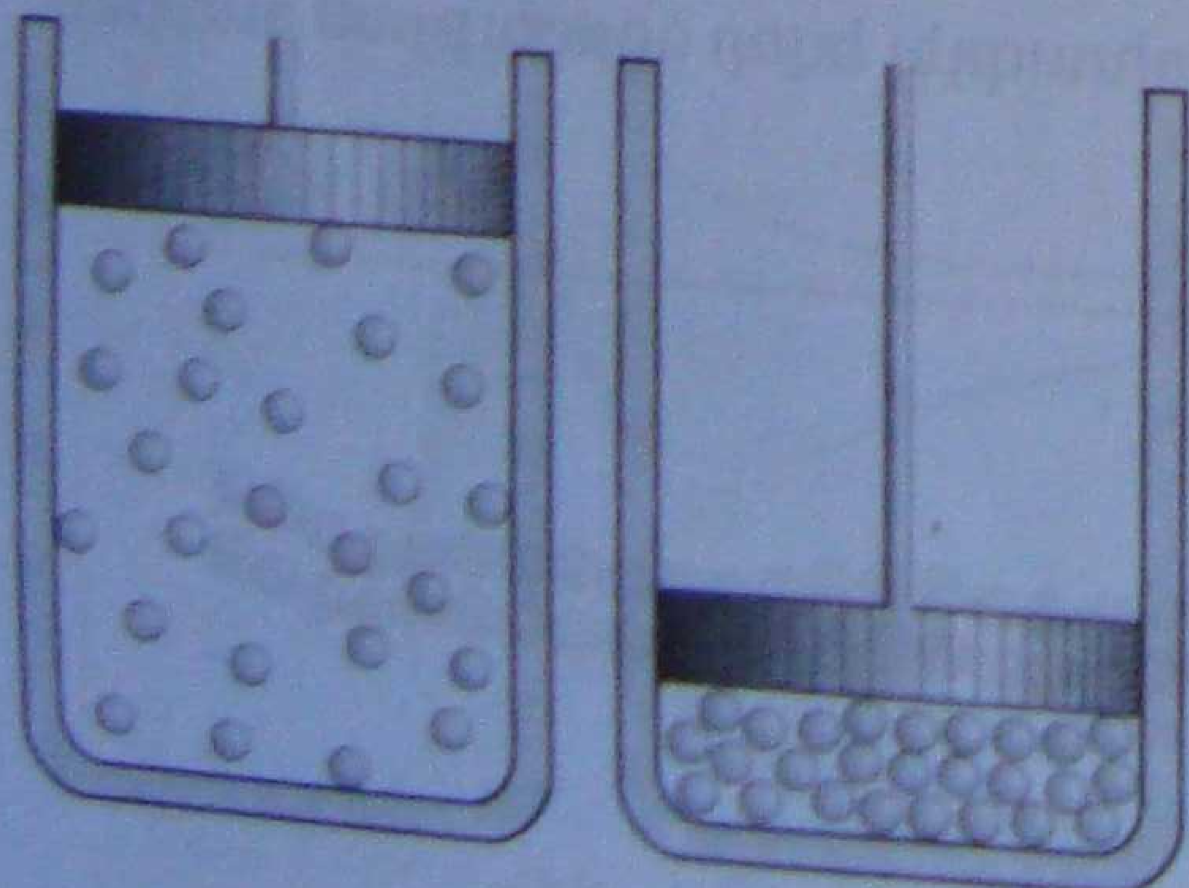
Մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը թույլ է տալիս բացատրել նյութի տարբեր ագրեգատային վիճակների՝ գազերի, հեղուկների և պինդ մարմինների գոյությունը:

Գազեր: Գազերում ատոմների և մոլեկուլների հեռավորությունները զգալիորեն գերազանցում են գազը կազմող մոլեկուլների չափերը: Համոզվենք դրանում թվային գնահատման օգնությամբ:

Հայտնի է, որ նորմալ պայմաններում (760 մմ սնդ. սյան ճնշում, $t = 0^oC$ ջերմաստիճան) օդի յուրաքանչյուր $1 մ^3$-ում պարունակվում է մոտ $2{,}7\cdot10^{25}$ մոլեկուլ: Յուրաքանչյուր մոլեկուլին բաժին ընկնող ծավալը՝ $V_0 = 1 մ^3/2{,}7\cdot10^{25} \approx 3{,}7\cdot10^{-26} մ^3$:

Եթե V_0 ծավալը ներկայացնենք որպես a կող ունեցող խորանարդ ($V_0 = a^3$), ապա մոլեկուլների a միջին հեռավորության համար կստանանք՝ $a = V_0^{1/3} \approx 3{,}3\cdot10^{-9}$ մ, որն ավելի քան 10 անգամ գերազանցում է մոլեկուլների չափերը: Գազերը հեշտությամբ սեղմվում են, քանի որ փոքրանում են նրանց միջմոլեկուլային հեռավորությունները, սակայն մոլեկուլները իրար չեն «սեղմվում» (նկ. 143): Գազի մոլեկուլները շարժվում են մի քանի 100 մ/վ -ից մինչև 1000 մ/վ -ի կարգի արագություններով, ուստի $r \sim (2\div3)d$ հեռավորությունների վրա գործող ձգողական բնույթի մոլեկուլային ուժերն ի վիճակի չեն իրար մոտ պահել նրանց: Այս պատճառով գազը կարող է անսահմանափակ ընդարձակվել՝ գրավելով իրեն ընձեռած ողջ ծավալը: ***Գազի ծավալ ասելով հասկանում ենք գազը պարունակող անոթի տարողությունը:***

Երբ գազի որևէ երկու մոլեկուլ շարժվելիս մոտենում են այնքան, որ նրանց կենտրոնների հեռավորությունը դառնում է մոլեկուլի տրամագծից փոքր, մոլեկուլների էլեկտրոնային թաղանթները մասամբ փոխներթափանցում են: Արդյունքում փոքր՝ $r < d$ հեռավորությունների վրա գործող հզոր վանողության ուժերը մոլեկուլներին կանգնեցնում և ապա ետ են շպրտում հակառակ ուղղություններով: Ընդունված է ասել, որ մոլեկուլների միջև տեղի է ունենում «բախում»: Գազային վիճակում մոլեկուլների փոխազդեցությունը հիմնականում իրագործվում է բախումների միջոցով: Բացի միմյանց հետ բախվելուց, գազի մոլեկուլներն անընդհատ բախվում են անոթի պատերին, ինչն էլ հենց գազի ճնշման պատճառն է:



Նկ. 143

Հեղուկներ: Հեղուկների խտությունը զգալիորեն գերազանցում է գազերի խտությունը: Դա հետևանք է այն բանի, որ հեղուկի մոլեկուլները գտնվում են իրար շատ մոտ, ինչն էապես ազդում է մոլեկուլների շարժման վրա: Դրանք այլևս ազատ շարժվել չեն կարող, ինչպես գազում: Յուրաքանչյուր մոլեկուլ հիմնականում «դոփում» է տեղում՝ բախվելով հարևան մոլեկուլներին և կատարելով անկանոն շարժումներ որոշակի կետերի շուրջ, ու երբեմն էլ՝ «ցատկելով» հայտնվում նոր տեղում և նոր «շրջապատում» (նկ. 144):



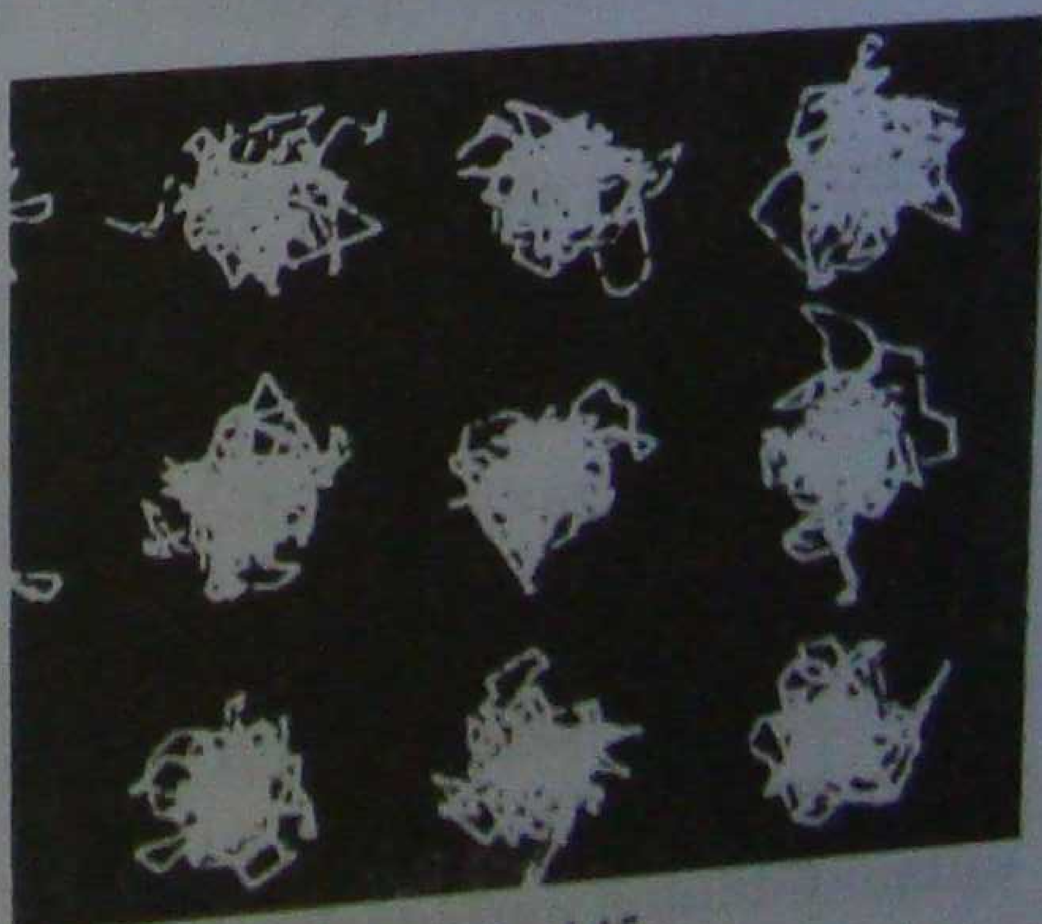
Նկ. 144

Հեղուկում առանձին մոլեկուլի շարժումը կարելի է նմանեցնել ուղղորներով լի ավտոբուսում ուղևորների վարքին, որոնք ստեպ-ստեպ փոխում են իրենց տեղերը: Հեղուկներում որևէ կետի շուրջ մոլեկուլների «դոփելու» ժամանակը, կամ, ինչպես ընդունված է ասել, «նստակյաց կյանքի» տևողությունը սենյակային ջերմաստիճաններում 10^{-11} վ կարգի մեծություն է: Այս ընթացքում մոլեկուլը հասցնում է կատարել 10-ից 100 տատանում: Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ նստակյաց կյանքի տևողությունը փոքրանում է, իսկ «ցատկերի» թիվն աճում է:

Քանի որ հեղուկում մոլեկուլներն իրար շատ մոտ են գտնվում, ապա դրանց ավելի մոտեցնելը հանգեցնում է մոլեկուլների էլեկտրոնային թաղանթների վերադրման և հզոր վանողության ուժերի ի հայտ գալուն: Սա է պատճառը, որ, ի տարբերություն գազերի, ***հեղուկները շատ քիչ են սեղմվում և ունեն որոշակի սեփական ծավալ***:

Հեղուկների մյուս յուրահատկությունը նրանց ***հոսունությունն*** է, որը բացատրվում է հետևյալ կերպ: Հավասարակշռության մեջ գտնվող հեղուկում մոլեկուլների «ցատկերը» բոլոր ուղղություններով կատարվում են միևնույն հաճախությամբ: Երբ հեղուկի վրա արտաքին ուժ է ազդում, այն չի փոխում «ցատկերի» հաճախությունը (մեկ վայրկյանում ցատկերի թիվը), սակայն նպաստում է իր ազդման ուղղությամբ «ցատկերին» և խոչընդոտում է հակառակ ուղղությամբ «ցատկերին»: Արդյունքում հեղուկը տեղափոխվում է ազդող ուժի ուղղությամբ. այն հոսում է: Հոսունության պատճառով է, որ հեղուկը չունի որոշակի ձև և ընդունում է այն անոթի ձևը, որի մեջ լցված է:

Պինդ մարմիններ: Ի տարբերություն հեղուկների՝ պինդ մարմիններն ունեն և՛ որոշակի ծավալ, և՛ որոշակի ձև: Վերջին հատկությունը հետևանք է այն բանի, որ պինդ մարմնում ատոմները և մոլեկուլները կատարում են տատանողական շարժում հավասարակշռության սևեռված դիրքերի շուրջ (նկ. 145):



Նկ. 145

Պինդ մարմինների խտությունը քիչ է տարբերվում հեղուկների խտությունից:

Պինդ մարմիններում մասնիկների «ցատկերը» հավասարակշռության տարբեր դիրքերի միջև հազվադեպ են: Դրա վկայությունն է դիֆուզիայի ընթացքի չափազանց փոքր արագությունը պինդ մարմիններում:

Եթե տարածության մեջ մասնիկների հավասարակշռության դիրքերը մտովի միացնենք ուղիղներով, ապա կստանանք բյուրեղի ***տարածական***

կամ բյուրեղային ցանցը: *Ներքին կանոնավոր կառուցվածք ունեցող պինդ մարմինները կոչվում են բյուրեղներ*: Բյուրեղի ներքին կառուցվածքի համաչափության դրսևորումներից մեկն էլ նրա արտաքին ձևի որոշակիությունն է:

Պինդ մարմինները լինում են նաև **ամորֆ** (հունարեն «ա»՝ ժխտական նախածանց և «մորֆոս»՝ ձև, այսինքն՝ «տձև»): Ամորֆ մարմիններում մոլեկուլները (ատոմները) միմյանց նկատմամբ գրավում են որոշակի դիրքեր, սակայն մասնիկների փոխադարձ դիրքերը (փոխդասավորությունը) մարմնի տարբեր մասերում տարբեր են:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչո՞վ են տարբերվում մոլեկուլների ջերմային շարժումները գազերում, հեղուկներում և պինդ մարմիններում:*
2. *Ի՞նչ տարբերություններ կան բյուրեղային և ամորֆ պինդ մարմինների միջև:*
3. *Ինչպե՞ս է բացատրվում հեղուկների հոսունությունը:*
4. *Ի՞նչ է բյուրեղի տարածական (բյուրեղային) ցանցը:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Որոշել մեթանի մոլային զանգվածը:*

Լուծում: Մեթանի քիմիական բանաձևը CH_4-ն է: Ածխածնի հարաբերական ատոմային զանգվածը՝ $M_{rC} = 12$, իսկ ջրածնինը՝ $M_{rH} \approx 1{,}008$, ուստի մեթանի հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը՝ $M_r = M_{rC} + 4M_{rH} \approx 16{,}032$:

Մեթանի մոլային զանգվածը, ըստ (12.5) բանաձևի, հավասար է՝

$$M = 10^{-3} M_r \frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} \approx 0{,}016 \frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} = 16 \frac{\text{գ}}{\text{մոլ}} :$$

2. *Որոշել 0,5 կգ $Cu(OH)_2$-ում պարունակվող ատոմների թիվը:*

Լուծում: Նախ որոշենք նյութի քանակը տրված զանգվածում: Համաձայն (12.8) բանաձևի՝ $\nu = m/M$, որտեղ $Cu(OH)_2$-ի մոլային զանգվածը՝

$$M = 10^{-3}\left(M_{rCu} + 2M_{rO} + 2M_{rH}\right)\frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} = 10^{-3}\left(63{,}55 + 2\cdot 16 + 2\cdot 1{,}008\right)\frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} \approx 0{,}0976 \frac{\text{կգ}}{\text{մոլ}} :$$

Քանի որ $Cu(OH)_2$-ի 1 մոլը պարունակում է $N_A = 6{,}02\cdot 10^{23}$ մոլեկուլ, իսկ $Cu(OH)_2$-ի յուրաքանչյուր մոլեկուլ կազմված է 5 ատոմից (պղնձի մեկ, թթվածնի և ջրածնի երկուական ատոմ), ապա 0,5կգ-ում կպարունակվի

$$N = 5\cdot \nu N_A = 5\frac{m}{M}N_A = 1{,}54\cdot 10^{25} \text{ ատոմ :}$$

3. *Որոշել ջրի մոլեկուլների թիվը 1 մմ³-ում, մեկ մոլեկուլի զանգվածը և տրամագիծը (ենթադրվում է, որ մոլեկուլն ունի գնդի ձև):*

Լուծում: 1. Օգտվելով (12.2) և (12.8) բանաձևերից՝ որոշենք m զանգվածով ջրում պարունակվող մոլեկուլների թիվը՝

$$N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{M} N_A :$$

Այս բանաձևում զանգվածի փոխարեն տեղադրելով $m = \rho V$ արտահայտությունը, որտեղ $\rho = 10^3$ կգ/մ³-ը ջրի խտությունն է, և մոլային զանգվածի արժեքը՝ $M = 0{,}018$ կգ/մոլ, կստանանք՝

$$N = \frac{\rho V}{M} N_A \approx 3{,}3 \cdot 10^{19} \text{ մոլեկուլ :}$$

2. Մեկ մոլեկուլի զանգվածը կորոշենք (12.4) բանաձևից՝

$$m_1 = \frac{M}{N_A} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ կգ:}$$

3. Կենթադրենք, որ ջրի մոլեկուլները հպվում են իրար: Այդ դեպքում յուրաքանչյուր մոլեկուլին բաժին ընկնող խորանարդի ծավալը՝ $V_1 = d^3$, որտեղ d-ն մոլեկուլի տրամագիծն է: V_1 ծավալն արտահայտելով մոլային զանգվածի միջոցով և օգտվելով (12.9) բանաձևից՝ կստանանք՝

$$V_1 = \frac{V_M}{N_A} = \frac{M}{\rho \cdot N_A} = d^3, \text{ որտեղից՝ } d = \left(\frac{M}{\rho N_A}\right)^{1/3} :$$

Տեղադրելով մեծությունների թվային արժեքները՝ կստանանք՝ $d \approx 3{,}1 \cdot 10^{-10}$ մ :

Խնդիրներ

1. *Անոթում պարունակվում է 3 մոլ հելիում: Հելիումի քանի՞ մոլեկուլ կա անոթում:*
2. *Ոսկու մեջ հարևան ատոմների կենտրոնների միջև հեռավորությունը $2{,}9 \cdot 10^{-10}$ մ է: Քանի՞ ատոմ կտեղավորվի 0,1 մմ հաստությամբ ոսկու թիթեղի հաստության երկայնքով:*
3. *Որոշել 10^{-6} կգ ջրածնի մոլեկուլներից կազմված միաշար շղթայի երկարությունը, եթե համարենք, որ դրանք դասավորված են կիպ: Ջրածնի մոլեկուլի տրամագիծը հավասար է $2 \cdot 10^{-10}$ մ-ի:*
4. *Գիտենալով Ավոգադրոյի հաստատունը, նյութի խտությունը և նրա մոլային զանգվածը՝ արտածել մոլեկուլների թվի հաշվարկման բանաձև՝*
   ա) նյութի միավոր զանգվածում,
   բ) նյութի m զանգվածում,
   գ) նյութի V ծավալում:
5. *20 սմ² մակերեսով մակերևույթը պատված է 1 մկմ հաստությամբ արծաթի շերտով: Արծաթի քանի՞ ատոմ կա այդ շերտում:*
6. *301 մ³ ծավալով սենյակում հատակին ընկավ 10^{-4}գ զանգվածով օծանելիքի կաթիլ և լրիվ գոլորշիացավ: Օծանելիքի քանի՞ մոլեկուլ է ներծծվում մարդու թոքերի մեջ յուրաքանչյուր ներշնչման ժամանակ, եթե թոքերի ծավալը 10^{-3} մ³ է: Օծանելիքի մոլային զանգվածը 0,1 կգ/մոլ է:*
7. *Քանի՞ անգամ է մեծ կապարի ատոմի զանգվածը ալյումինի ատոմի զանգվածից, եթե ալյումինի ատոմների թիվը միավոր ծավալում 1836 անգամ մեծ է նույն ծավալով կապարի ատոմների թվից:*
8. *Որոշակի պայմաններում թթվածինն ունի 1,28 կգ/մ³ խտություն: Ի՞նչ ծավալ կզբաղեցնի այդ պայմաններում 3 կմոլ թթվածինը:*

9. *20 մ խորությամբ և 10 կմ² մակերեսով ջրամբարի մեջ ցսկցին 0,029 գ զանգ-ջրամբարի մեջ ցսկցին 0,029 գ զանգվածով կերակրի աղի բյուրեղիկ: Աղի քանի՞ մոլեկուլ կգտնվի 2 սմ³ ծավալով ջրում, եթե համարենք, որ աղը լուծվելով հավասարաչափ է բաշխվել ջրամբարի ծավալում: Աղի մոլային զանգվածը 58 գ/մոլ է:*

10. *Գտնել Երկրի մթնոլորտում օդի մոլեկուլների թիվը՝ համարելով, որ մթնոլորտի ամբողջ բարձրությամբ ազատ անկման արագացումը հաստատուն է և հավասար 10 մ/վ²: Երկրի շառավիղն ընդունել հավասար 6500 կմ-ի, ճնշումը ծովի մակերևույթին 10^5 Պա է, օդի մոլային զանգվածը՝ 0,029 կգ/մոլ:*

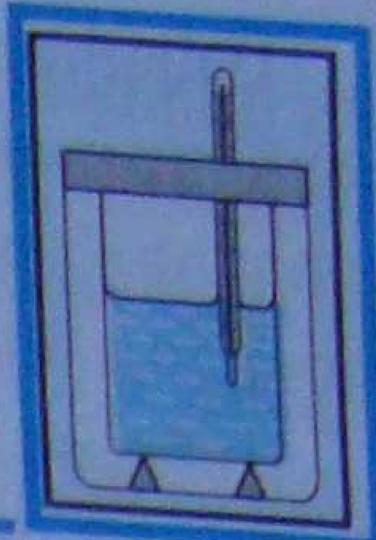
11. *Ի՞նչն է պարունակում ավելի շատ ատոմ. 1 կգ ալյումի՞նը, թե՞ 1 կգ երկաթը:*

12. *Քանի՞ մոլ և քանի՞ մոլեկուլ է պարունակվում 1 լ ջրում:*

ԳԼՈՒԽ 12-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթների համաձայն՝ բոլոր մարմինները կազմված են մոլեկուլներից (ատոմներից), որոնք գտնվում են երբեք չդադարող քաոսային (ջերմային) շարժման մեջ: Մոլեկուլների միջև գործում են փոխազդեցության ուժեր, որոնք ունեն վանողական բնույթ մոլեկուլի սեփական չափերից փոքր հեռավորությունների վրա և ձգողական բնույթ՝ դրանցից մեծ հեռավորությունների վրա:
2. Մոլեկուլների զանգվածները $10^{-27} \div 10^{-21}$ կգ կարգի մեծություններ են, իսկ դրանց թիվը մակրոսկոպական համակարգերում՝ $N \sim N_A$, որտեղ $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ $մոլ^{-1}$-ն Ավոգադրոյի հաստատունն է:
3. Հարաբերական մոլեկուլային (կամ ատոմային) զանգված է կոչվում մոլեկուլի (կամ ատոմի) զանգվածի հարաբերությունը զանգվածի ատոմային միավորին (1 զ.ա.մ), որը հավասար է ածխածնի ատոմի զանգվածի 1/12 մասին:
4. Նյութի քանակը հավասար է տվյալ մարմնի մոլեկուլների թվի և Ավոգադրոյի հաստատունի հարաբերությանը: Մեկ մոլը նյութի այն քանակն է, որը պարունակում է N_A թվով մոլեկուլ:
5. Մոլային զանգված է կոչվում նյութի 1 մոլի զանգվածը (չափվում է կգ/մոլ միավորով): Մոլային ծավալ է կոչվում 1 մոլ նյութի զբաղեցրած ծավալը (չափվում է $մ^3$/մոլ միավորով):
6. Գազերում միջմոլեկուլային հեռավորությունները շատ անգամ մեծ են մոլեկուլների սեփական չափերից, իսկ հեղուկներում և պինդ մարմիններում դրանք նույն կարգի մեծություններ են: Ի տարբերություն հեղուկների և գազերի՝ բյուրեղային մարմինները օժտված են ներքին կանոնավոր կառուցվածքով և ունեն որոշակի ձև:

13 ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՌՈՒԹՅՈՒՆ: ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆ



§ 60. Մակրոհամակարգի ջերմադինամիկական նկարագրությունը

Մակրոսկոպական պարամետրեր: Ցանկացած մակրոսկոպական համակարգ կազմված է հսկայական թվով մասնիկներից՝ ատոմներից և մոլեկուլներից: Մասնիկների թվի հսկայական լինելու պատճառով հնարավոր չէ համակարգի վիճակը նկարագրել մեխանիկական եղանակով՝ այն է, տալ յուրաքանչյուր մասնիկի վրա ազդող ուժերը և բոլոր մասնիկների սկզբնական արագությունները և դիրքերը:

Սակայն մակրոսկոպական համակարգի ներքին վիճակը կարելի է նկարագրել այնպիսի մեծությունների միջոցով, որոնք բնութագրում են համակարգն ամբողջությամբ: Այդ մեծությունները կոչվում են ***մակրոսկոպական*** կամ ***ջերմադինամիկական պարամետրեր***: Դրանք անմիջականորեն չափվում են տարբեր սարքերի, օրինակ՝ մանոմետրի, ջերմաչափի միջոցով, որոնք չեն արձագանքում առանձին մոլեկուլների ազդեցությանը: Մակրոսկոպական պարամետրերի թիվը կախված է ջերմադինամիկական համակարգի տեսակից և արտաքին ազդեցություններից: Այսպես, տրված զանգվածով համասեռ գազի կամ հեղուկի վիճակը նկարագրվում է նրա ծավալով, ճնշմամբ և ջերմաստիճանով: Եթե համակարգը տարատեսակ գազերի խառնուրդ է, ապա անհրաժեշտ է գիտենալ նաև յուրաքանչյուր գազի կոնցենտրացիան խառնուրդում, իսկ եթե այն գտնվում է արտաքին գրավիտացիոն, էլեկտրական կամ մագնիսական դաշտերում, ապա նրա վիճակը նկարագրվում է նաև այդ դաշտերի բնութագրերով:

Ջերմադինամիկական (ջերմային) հավասարակշռություն: Եթե ջրով լի բաժակի մեջ գցենք շաքարի մի կտոր, ապա այն կսկսի լուծվել ջրում: Որոշ ժամանակ անց շաքարի լուծվելը կդադարի: Արդյունքում կստացվի համասեռ լուծույթ, եթե շաքարը լրիվ լուծվի, կամ կստացվի անհամասեռ համակարգ՝ կազմված շաքարի չլուծված կտորից և շաքարի հագեցած ջրային լուծույթից: Նման ձևով, եթե բաժակի մեջ գցենք սառույցի մի կտոր, ապա այն կհալվի՝ սառեցնելով բաժակի ջուրը: Երբ սառույցը լրիվ հալվի, ջուրը կսկսի տաքանալ այնքան ժամանակ, մինչև որ նրա ջերմաստիճանը հավասարվի շրջապատի օդի ջերմաստիճանին: Այս օրինակներից հետևում է, որ ջերմադինամիկական համակարգը գալիս է մի վիճակի, որտեղ մակրոսկոպական երևույթները՝ լուծվելը և հալումը, դադարել են, այլևս չեն ընթանում: Այս վիճակն ընդունված է անվանել ***ջերմադինամիկական*** կամ ***ջերմային հավասարակշռության վիճակ***: Ջերմային հավասարակշռության վիճակում համակարգի մակրոսկոպական պարամետրերը մնում են անփոփոխ, եթե արտաքին գործոնները բացակայում են: Բազմաթիվ փորձերի արդյունքների հիման վրա պարզվել է, որ ***հավասարակշռական վիճակում չգտնվող և ինքնիրեն թողնված ջերմադինամիկական համակարգը գալիս է ջերմային հավասարակշռության վիճակի և այդ վիճակից «ինքնակամ», այսինքն՝ առանց արտաքին գործոնների ազդեցության, դուրս գալ չի կարող:***

Այսպիսով՝ հավասարակշռության վիճակում համակարգում մակրոսկոպական փոփոխություններ տեղի ունենալ չեն կարող: Այսպես, բացառվում են մակրոսկոպական տեղափոխությունները (ծավալի փոփոխություն), զանգվածի տեղափոխությունը (դիֆուզիա), ներքին էներգիայի փոփոխությունը (ջերմահաղորդում) և այլն:

Սակայն ջերմային հավասարակշռության վիճակում միկրոսկոպական պրոցեսները երբեք չեն դադարում. մոլեկուլների կոորդինատները և արագությունները անընդհատ փոփոխվում են: Ժամանակի ընթացքում հաստատուն են մնում մակրոսկոպական բնութագրերի հավասարակշռական արժեքները: Ջերմային հավասարակշռության հաստատվելը և նրա գոյությունը հնարավոր են հենց անընդհատ մոլեկուլային շարժման շնորհիվ: Սրանով էլ ջերմային հավասարակշռության վիճակը տարբերվում է համակարգի մեխանիկական հավասարակշռության վիճակից, երբ որևէ հաշվարկման համակարգում մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում: Այսպիսով՝ ***ջերմադինամիկական հավասարակշռությունը ջերմային շարժման հատուկ ձև է, երբ համակարգը նկարագրող մակրոսկոպական պարամետրերը ժամանակի ընթացքում մնում են անփոփոխ***:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք ջերմադինամիկական պարամետրի սահմանումը:*
2. *Ինչո՞վ են տարբերվում համակարգի ջերմադինամիկական (մակրոսկոպական) և մեխանիկական նկարագրման եղանակները:*
3. *Բերե՛ք մակրոսկոպական համակարգի օրինակ և նշե՛ք նրա վիճակը բնութագրող պարամետրերը:*
4. *Ո՞րն է ջերմային հավասարակշռության և մեխանիկական հավասարակշռության տարբերությունը:*

§ 61. Ջերմադինամիկական պրոցեսի գաղափարը

Եթե մակրոսկոպական համակարգը գտնվում է որոշակի ջերմադինամիկական վիճակում, ապա այդ վիճակը բնութագրող մակրոսկոպական պարամետրերը համարվում են տրված:

Ջերմադինամիկական պրոցես է կոչվում մակրոսկոպական համակարգի անցումը մի ջերմադինամիկական վիճակից մյուսին:

Հասկանալի է, որ ջերմադինամիկական պրոցեսում համակարգի մակրոսկոպական պարամետրերը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում են, այսինքն՝ համակարգի ջերմային հավասարակշռության վիճակը խախտվում է: Օրինակ, եթե գլանում գտնվող գազն արագ սեղմենք՝ կտրուկ իջեցնելով մխոցը, ապա մխոցին հարող տիրույթում գազի խտության, ճնշման և ջերմաստիճանի աճ կնկատվի: Հետևաբար, այս դեպքում գազին՝ որպես համակարգի, չի կարելի վերագրել որոշակի խտություն, ճնշում և ջերմաստիճան, քանի որ դրանց արժեքները գազում կետից կետ փոփոխվում են: Խախտված ջերմային հավասարակշռությունը կվերականգնվի որոշ ժամանակ անց միայն, համակարգը կազմող մասնիկների ջերմային շարժման շնորհիվ, և գազի մակրոսկոպական պարամետրերը կընդունեն նոր և համակարգի բոլոր մասերի համար միևնույն արժեքները:

Խախտված ջերմային հավասարակշռության վիճակից հավասարակշռության վիճակին անցնելու ժամանակը, որն ընդունված է անվանել ***ռելաքսացիայի ժամանակ*** (լատիներեն «ռելաքսացիո»՝ թուլանալ, հանգստանալ բառից), կարող է ունենալ իրարից

էապես տարբերվող արժեքներ՝ կախված այն պրոցեսներից, որոնք համակարգը բերում են ջերմային հավասարակշռության: Օրինակ՝ գազում ճնշումների հավասարվելը, որի հիմքում ընկած է մոլեկուլների միջև իմպուլսների փոխանակումը բախումների միջոցով, կատարվում է վայրկյանի չնչին մասերի ընթացքում, իսկ դիֆուզիայի պրոցեսում կոնցենտրացիաների հավասարվելը տևում է րոպեներ, ժամեր, անգամ՝ տարիներ:

Եթե ջերմադինամիկական պրոցեսը, օրինակ՝ գազի սեղմումը, ընթանում է այնքան դանդաղ, որ նրա տևողությունը էապես գերազանցում է խախտված ջերմային հավասարակշռությունը վերականգնելու համար անհրաժեշտ ռելաքսացիայի ժամանակը, ապա յուրաքանչյուր ընթացափուլում բոլոր մակրոսկոպական պարամետրերը հասցնում են ընդունել համակարգի բոլոր մասերի համար միևնույն հավասարակշռական արժեքները: Այս դեպքում կարելի է ընդունել, որ սեղմման ողջ ընթացքում գլանում գազը ջերմային հավասարակշռության վիճակում է:

Մակրոսկոպական պարամետրերի «անվերջ դանդաղ» փոփոխման սահմանային դեպքում ջերմադինամիկական համակարգը հաջորդաբար մի հավասարակշռության վիճակից անցնում է մյուս վիճակին: Այսպիսի ***«անվերջ դանդաղ» ընթացող պրոցեսները, որոնք ներկայացնում են իրար անվերջ մոտ վիճակների միջև անընդհատ անցումների հաջորդականություն, կոչվում են հավասարակշռական կամ քվազիստատիկ***:

Հավասարակշռական պրոցեսների ուսումնասիրությունն ունի կարևոր գործնական նշանակություն հետևյալ պատճառով: Բոլոր իրական պրոցեսներն ընթանում են վերջավոր արագությամբ, ուստի հավասարակշռական չեն: Սակայն եթե մակրոսկոպական համակարգում ընթացող որևէ պրոցեսի արագությունը շատ անգամ փոքր է համակարգի խախտված ջերմային հավասարակշռության վերականգնման արագությունից, ապա այդ պրոցեսը կարելի է համարել հավասարակշռական և այն ուսումնասիրել ջերմադինամիկական մեթոդներով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք ջերմադինամիկական պրոցեսի սահմանումը:*
2. *Ի՞նչ է ռելաքսացիայի ժամանակը:*
3. *Ինչո՞վ է բնութագրվում ջերմային հավասարակշռության վիճակը:*

§ 62. Ջերմաստիճանի գաղափարը: Ջերմաստիճանի չափումը

Ջերմային երևույթներն ուսումնասիրելիս ներմուծվում է ֆիզիկական մի նոր մեծության՝ ***ջերմաստիճանի*** գաղափարը: Այն ֆիզիկա է մտել կենցաղում տաքի և սառի մասին ունեցած պատկերացումներից, որոնք հիմնված են մեր զգայական փորձի վրա: Սակայն զգայությունները միարժեք չեն, դրանք կախված են ինչպես անհատից, այնպես էլ շրջակա միջավայրից: Օրինակ՝ միևնույն սենյակում գտնվող մետաղե իրերը միշտ թվում են ավելի սառը, քան փայտից կամ պլաստմասսայից պատրաստվածները:

Սակայն միշտ չէ, որ հնարավոր է մարմնի ջերմային վիճակը որոշել շոշափելով (օրինակ՝ հալված պողպատի ջերմաստիճանը) և, բացի այդ, հնարավոր չէ տալ քանակական և օբյեկտիվ (այսինքն՝ «շոշափողից» չկախված) բնութագիր:

Ջերմաստիճանի՝ որպես օբյեկտիվ ֆիզիկական մեծության սահմանումը հիմնվում է ջերմային հավասարակշռության գաղափարի վրա:

Դիտարկենք ջերմադինամիկական հավասարակշռության վիճակում գտնվող և մեկուսացված մի համակարգ, որը ջերմահաղորդիչ միջնորմով բաժանված է երկու մասի, որոնց միջև հնարավոր է միայն ջերմափոխանակություն: Եթե նման **ջերմային հպումը** չի հանգեցնում համակարգի ջերմադինամիկական հավասարակշռության վիճակի փոփոխության, ապա ընդունված է ասել, որ համակարգի երկու մասերն էլ ունեն միևնույն ջերմաստիճանը: Ջերմաստիճանի՝ որպես ջերմադինամիկական համակարգի հավասարակշռական վիճակը որոշող ֆիզիկական բնութագրի գոյությունը ջերմադինամիկայում ընդունվում է իբրև ճախնական դրույթ: ***Ջերմաստիճանը միակ մակրոսկոպական բնութագիրն է, որն ունի միևնույն արժեքը ջերմադինամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվող համակարգի բոլոր մասերում:*** Մնացած մակրոսկոպական բնութագրերը, կախված կոնկրետ պայմաններից, հավասարակշռական համակարգի տարբեր մասերում կարող են ունենալ ինչպես նույն, այնպես էլ տարբեր արժեքներ: Օրինակ՝ բալոնում գտնվող գազը կարող է ջերմադինամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվել շրջապատի հետ, չնայած գազի ճնշումը կարող է տարբերվել դրսի ճնշումից: Սակայն եթե գլանում գազը շարժական մխոցով բաժանված է երկու մասի, ապա ջերմադինամիկական հավասարակշռության վիճակում պետք է նույնը լինեն ոչ միայն երկու մասերի ջերմաստիճանները, այլև մխոցի տարբեր կողմերում ճնշումները:

Եթե երկու մարմինների միջև հաստատվում է ջերմային հպում, ապա դրանց ջերմաստիճանների տարբեր լինելու դեպքում կատարվում է ջերմափոխանակություն, որի արդյունքում երկու մարմիններից բաղկացած համակարգը գալիս է մեկ՝ նույն ջերմաստիճանով բնութագրվող ջերմադինամիկական հավասարակշռության վիճակի: Ընդունված է ավելի բարձր համարել այն մարմնի ջերմաստիճանը, որը ջերմափոխանակության պրոցեսում ներքին էներգիա է տալիս մյուս մարմնին:

Ջերմաստիճանի մոլեկուլային-կինետիկ մեկնաբանումը: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից ինչի՞ն է համապատասխանում ջերմային հավասարակշռության վիճակում համակարգի մեջ մտնող բոլոր մարմինների ջերմաստիճանների հավասարությունը:

Ըստ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության՝ արագ շարժվող մոլեկուլները, բախվելով դանդաղ շարժվող մոլեկուլներին, դրանց են տալիս որոշակի էներգիա, որի հետևանքով արագ շարժվող մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիաները փոքրանում են, իսկ դանդաղ շարժվողներինը՝ մեծանում: Հսկայական թվով բախումների արդյունքում մեկ մոլեկուլին բաժին ընկնող միջին կինետիկ էներգիաները հավասարվում են և ջերմային հավասարակշռության վիճակում ընդունում միևնույն արժեքը՝ անկախ մոլեկուլների զանգվածներից: Այսպիսով՝ ***ջերմաստիճանը մակրոսկոպական մարմիններում մոլեկուլների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի չափն է:*** Մարմնի ջերմաստիճանի և նրանում մոլեկուլների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի կապը կտրվի գլուխ 14-ում:

Ջերմաստիճանի գաղափարն իմաստ ունի միայն մակրոսկոպական համակարգերի համար և կախված չէ համակարգի կամ նրա առանձին մասերի մեծությունից: Ջերմաստիճանի գաղափարը կիրառելի չէ առանձին մոլեկուլների նկատմամբ:

Ջերմաստիճանի չափումը: Ջերմաչափեր: Ջերմաստիճանի չափումը հիմնված է հետևյալ փորձնական փաստերի վրա՝

1. Եթե երկու մարմին առանձին-առանձին ջերմային հավասարակշռության մեջ են գտնվում երրորդ մարմնի հետ, ապա երեքն էլ ունեն միևնույն ջերմաստիճանը:

2. Մարմնի ջերմաստիճանի փոփոխությունն ուղեկցվում է մարմնի վիճակը բնութագրող առնվազն մեկ պարամետրի փոփոխությամբ:

Առաջին փաստից հետևում է, որ երրորդ մարմնի օգնությամբ, որը կատարում է ջերմաչափի դեր, կարելի է համեմատել մարմինների ջերմաստիճանները, առանց նրանց միջև ջերմային հպում հաստատելու: Երկրորդ փաստը թույլ է տալիս մարմնի որևէ բնութագիր (օրինակ՝ ծավալը, էլեկտրական դիմադրությունը և այլն) ընտրել որպես ջերմաչափական պարամետր և դրա փոփոխությամբ դատել ջերմաստիճանի փոփոխության մասին:

Ջերմաստիճանի չափման համար անհրաժեշտ է ստեղծել ջերմաստիճանային սանդղակ, որը թույլ է տալիս ջերմաստիճանն արտահայտել թվերով (նկ. 146):

Ցելսիուսի սանդղակ: Սնդիկի սյունը ջերմային կոնտակտի մեջ են դնում նորմալ մթնոլորտային ճնշման տակ գտնվող, հալվող մաքուր սառույցի հետ, որի ջերմաստիճանն ընդունվում է որպես հաշվարկի սկիզբ (0): Երկրորդ հաստատուն կետ է ընտրվում նորմալ մթնոլորտային ճնշման տակ թորած ջրի եռման ջերմաստիճանը (100): 0 և 100 կետերի միջև սանդղակը բաժանում են 100 հավասար մասերի և յուրաքանչյուր մասն անվանում մեկ աստիճան ըստ Ցելսիուսի սանդղակի (1°C): Եթե որպես ջերմաչափական նյութ սնդիկի փոխարեն վերցվի ջուր, ապա սանդղակի հիմնական հաստատուն կետերը՝ 0°C-ն ու 100°C-ը կհամընկնեն, սակայն միջանկյալ կետերը չեն համընկնի, քանի որ ջուրը և սնդիկը, ջերմաստիճանից կախված, իրենց ծավալները փոփոխում են տարբեր չափերով:

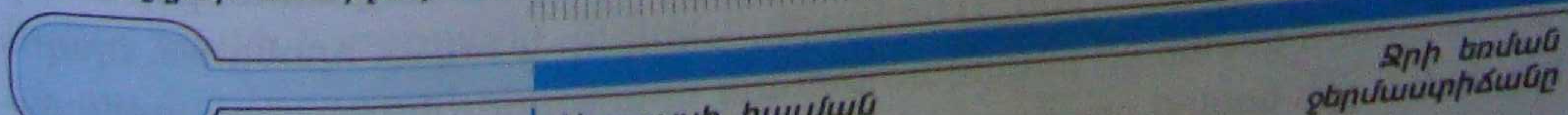
Այս թերությունը կարելի է մասամբ վերացնել, եթե որպես ջերմաչափական նյութ վերցվի նոսր գազ, սակայն այսպիսի գազային ջերմաչափը չի կարող աշխատել շատ բարձր և շատ ցածր ջերմաստիճաններում:

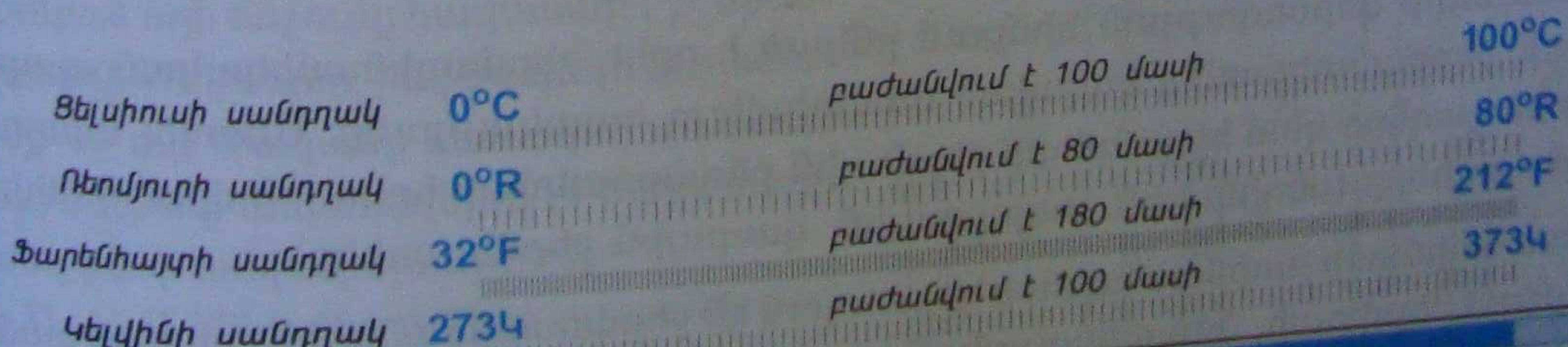
Ռեոմյուրի սանդղակ: Որպես հիմնական կետեր վերցված են սառույցի հալման և ջրի եռման ջերմաստիճանները, իսկ դրանց միջև ջերմաստիճանային տիրույթը բաժանված է 80 հավասար մասի: Ցելսիուսի և Ռեոմյուրի սանդղակի աստիճանները կապված են հետևյալ առնչությամբ՝

$$1°C = 0,8°R :$$

Ըստ Ռեոմյուրի սանդղակի՝ ջուրը եռում է 80°R-ում:

Ֆարենհայտի սանդղակ: Սառույցի հալման ջերմաստիճանը համապատասխանում է 32°F, իսկ ջրի եռման ջերմաստիճանը՝ 212°F: Այս հիմնական կետերի միջև ջեր-





Նկ. 146

մաստիճանային տիրույթը բաժանված է 180 հավասար մասի: Ցելսիուսի և Ֆարենհայտի սանդղակների կապը տրվում է հետևյալ առնչությամբ՝

$$n°C = (1{,}8n + 32)°F :$$

Օրինակ՝ մարդու նորմալ ջերմաստիճանին (36,5°C), ըստ Ֆարենհայտի սանդղակի, համապատասխանում է 98°F-ը:

Կելվինի սանդղակ: Որպես սառույցի հալման և ջրի եռման ջերմաստիճաններ վերցված են համապատասխանաբար 273,15Կ և 373,15Կ արժեքները, և դրանց միջև ջերմաստիճանային տիրույթը բաժանված է 100 հավասար մասի: 1Կ = 1°C, իսկ կապը Ցելսիուսի և Կելվինի սանդղակների միջև տրվում է հետևյալ առնչությամբ՝

$$T\,Կ = (\ 273{,}15 + t\ )°C :$$

Կելվինի կամ բացարձակ ջերմաստիճանային սանդղակի ֆիզիկական հիմնավորումը կտրվի գլուխ 14-ում:

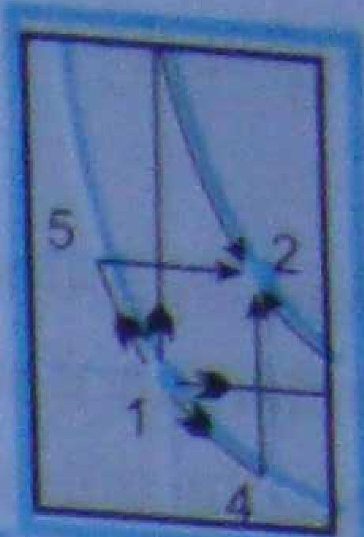
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. ***Ինչո՞վ է տարբերվում ջերմաստիճանը մնացած ջերմադինամիկական պարամետրերից:***
2. ***Ենթադրենք, թե A համակարգը ջերմային հավասարակշռության մեջ չի գտնվում B և C համակարգերի հետ: Արդյոք կարելի՞ է պնդել, որ B և C համակարգերն իրար հետ ջերմային հավասարակշռության մեջ չեն գտնվում:***
3. ***Ի՞նչ է ջերմաստիճանը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:***
4. ***Ի՞նչ է ջերմաչափական պարամետրը:***
5. ***Ինչի՞ է հավասար մարդու նորմալ ջերմաստիճանն ըստ Ռեոմյուրի և Կելվինի սանդղակների:***
6. ***Սենյակի ջերմաստիճանը 68°F է: Այն արտահայտե՛ք Ցելսիուսի աստիճաններով:***

ԳԼՈՒԽ 13-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մակրոսկոպական համակարգի վիճակը նկարագրվում է ջերմադինամիկական պարամետրերի միջոցով, որոնցից են՝ ճնշումը, համակարգի ծավալը և ջերմաստիճանը: Ջերմաստիճանը բնութագրում է համակարգի ջերմային հավասարակշռության վիճակը, երբ համակարգում մակրոսկոպական պրոցեսներ չեն ընթանում, այսինքն՝ համակարգի ջերմադինամիկական պարամետրերը ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում: Ջերմադինամիկական հավասարակշռության վիճակում ջերմաստիճանը համակարգի բոլոր մասերում ունի միևնույն արժեքը:
2. Ջերմաչափի գործողության հիմքում ընկած է որևէ ջերմադինամիկական պարամետրի՝ ջերմաստիճանից կախված փոփոխվելու հատկությունը: Առավել տարածված են գազերի կամ հեղուկների ջերմային ընդարձակման երևույթի վրա հիմնված ջերմաչափերը (սնդիկային, սպիրտային, գազային ջերմաչափեր):
3. Ջերմաստիճանի չափման համար կիրառվում են ջերմաստիճանային տարբեր սանդղակներ (Ցելսիուսի, Ֆարենհայտի, Ռեոմյուրի, Կելվինի և այլն), որոնցում, որպես կանոն, հաստատուն կետեր են ընտրված նորմալ մթնոլորտային ճնշման տակ սառույցի հալման և ջրի եռման ջերմաստիճանները:

14 ԳԱԶԱՅԻՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐ



§ 63. Բոյլ-Մարիոտի օրենքը

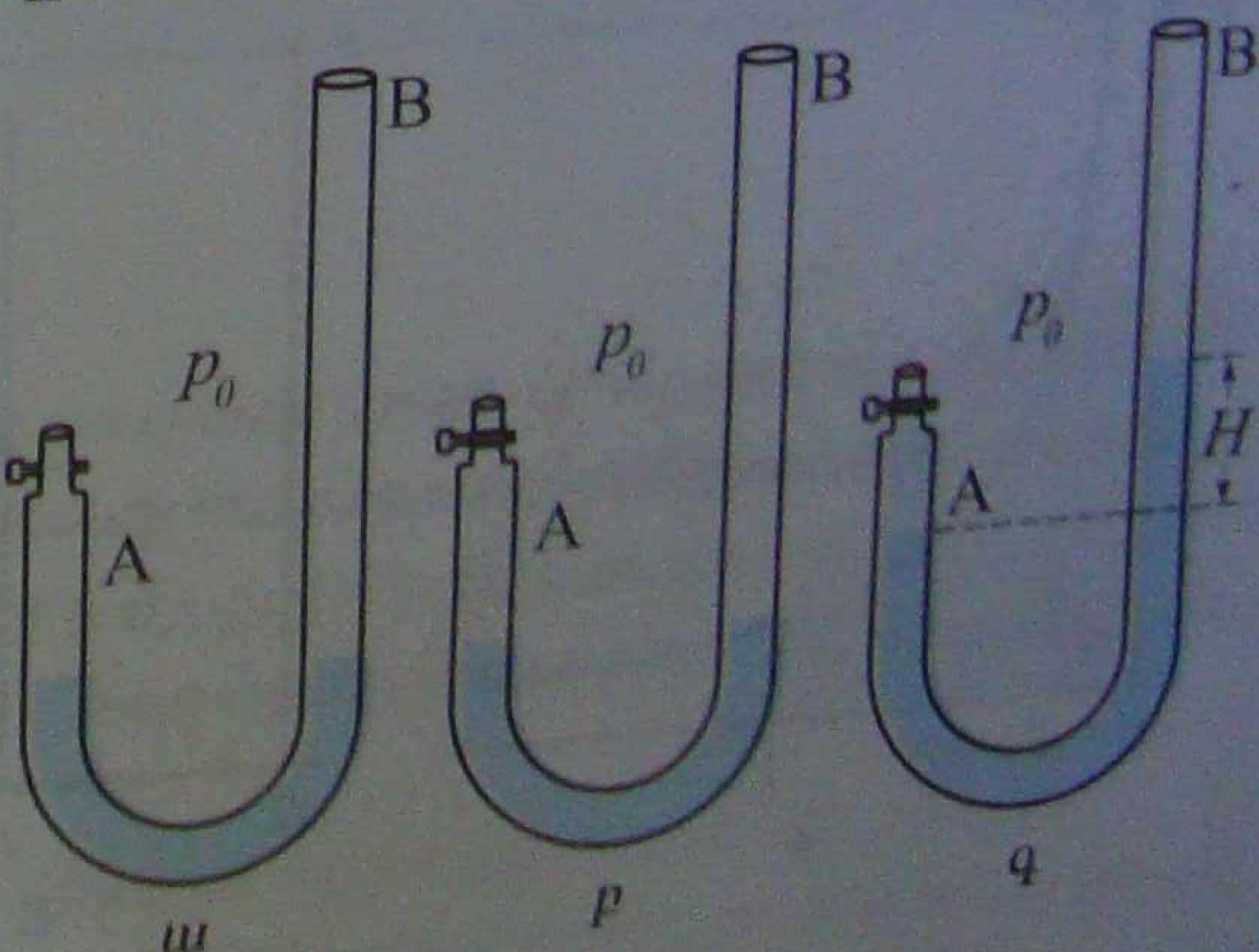
Տրված քանակով գազի մակրոսկոպական պարամետրերից որևէ մեկը փոխելիս փոխվում են նաև մյուս պարամետրերը: Կապը մակրոսկոպական պարամետրերի միջև առավել պարզ տեսք ունի գազերի համար: Տրված քանակով նոսր գազի վիճակը որոշվում է դրա ճնշման (p), ծավալի (V) և ջերմաստիճանի (t) միջոցով: Եթե նշված երեք պարամետրերից որևէ մեկը մնում է հաստատուն, ապա քանակական կապերը մնացած երկու պարամետրերի միջև կոչվում են ***հիմնական գազային օրենքներ***:

Առաջին գազային օրենքը, որը փորձնականորեն հայտնաբերվել է 1662 թ. անգլիացի գիտնական Ռ. Բոյլի, իսկ մի քանի տարի անց՝ ֆրանսիացի գիտնական Է. Մարիոտի կողմից, կապ է հաստատում տրված քանակով գազի ճնշման և ծավալի միջև հաստատուն ջերմաստիճանում:

Համակարգի վիճակի փոփոխությունը հաստատուն ջերմաստիճանում կոչվում է ***իզոթերմ պրոցես*** (հունարեն «իզոս»՝ հավասար և «թերմոս»՝ տաք բառերից): Որպեսզի համակարգի ջերմաստիճանը ջերմադինամիկական պրոցեսում մնա հաստատուն, անհրաժեշտ է այն ջերմային կոնտակտի մեջ դնել ***թերմոստատի*** հետ (թերմոստատը մի համակարգ է, որի ջերմաստիճանը պահպանվում է հաստատուն): Օրինակ՝ թերմոստատի դեր կարող է կատարել մթնոլորտային օդը, եթե դրա ջերմաստիճանը փորձի ընթացքում չի փոփոխվում:

Բոյլն ուսումնասիրում էր որոշակի զանգվածով օդի ծավալի փոփոխությունը՝ կախված ճնշումից: Նկ. 147-ում պատկերված է Բոյլի փորձի սխեման: U-աձև գլանային անոթի մեջ լցված է սնդիկ, և երկու ծնկներն էլ հաղորդակցվում են մթնոլորտային օդի հետ (նկ. 147,*ա*): Փակենք A ծնկի փականը՝ դրանում պարունակվող օդը մեկուսացնելով մթնոլորտից (նկ. 147,*բ*): Այս վիճակում A ծնկում օդի ճնշումը հավասար է p_0 մթնոլորտային ճնշմանը, իսկ ծավալը կնշանակենք V_0-ով: Փականը հետագայում մնում է միշտ փակ՝ ապահովելով A ծնկում օդի զանգվածի անփոփոխությունը:

Այժմ B ծնկի մեջ լցնենք որոշակի քանակով սնդիկ և սպասենք, մինչև որ սնդիկը գա հավասարակշռության վիճակի (նկ. 147,*գ*): Հավասարակշռության վիճակում A ծնկում օդի p ճնշումը հավասար է



Նկ. 147

մթնոլորտային և H բարձրությամբ սնդիկի սյան հիդրոստատիկ ճնշումների գումարին.

$$p = p_0 + \rho g H\,, \qquad (14.1)$$

որտեղ ρ-ն սնդիկի խտությունն է, g-ն՝ ազատ անկման արագացումը: Չափելով B և A ծնկներում սնդիկի մակարդակների տարբերությունը՝ H-ը, (14.1) բանաձևից կարելի է որոշել օդի p ճնշումը A փակ ծնկում: Օդի V ծավալը կարելի է հեշտությամբ որոշել՝ չափելով օդի սյան h բարձրությունը և գիտենալով A անոթի հատույթի մակերեսը՝ $V = hS$:

Փոփոխելով B ծնկի մեջ լցվող սնդիկի քանակը, հետևաբար և H մեծությունը, և չափելով օդի V ծավալը՝ Բոյլը նկատեց, որ քանի անգամ մեծանում է p ճնշումը, նույնքան անգամ փոքրանում է օդի զբաղեցրած ծավալը, այսինքն՝ գազի ճնշման և ծավալի միջև կա հակադարձ համեմատական կախում, այնպես որ ճնշման և ծավալի արտադրյալը փորձի ընթացքում մնում է անփոփոխ (և հավասար $p_0 \cdot V_0$ արտադրյալին): Փորձում թերմոստատի դերը կատարում է մթնոլորտային օդը:

Այսպիսով՝ ***տրված քանակով գազի ճնշման և ծավալի արտադրյալն իզոթերմ պրոցեսում մնում է հաստատուն՝***

$$pV = const, \quad \text{երբ} \quad m = const,\ t = const\ : \qquad (14.2)$$

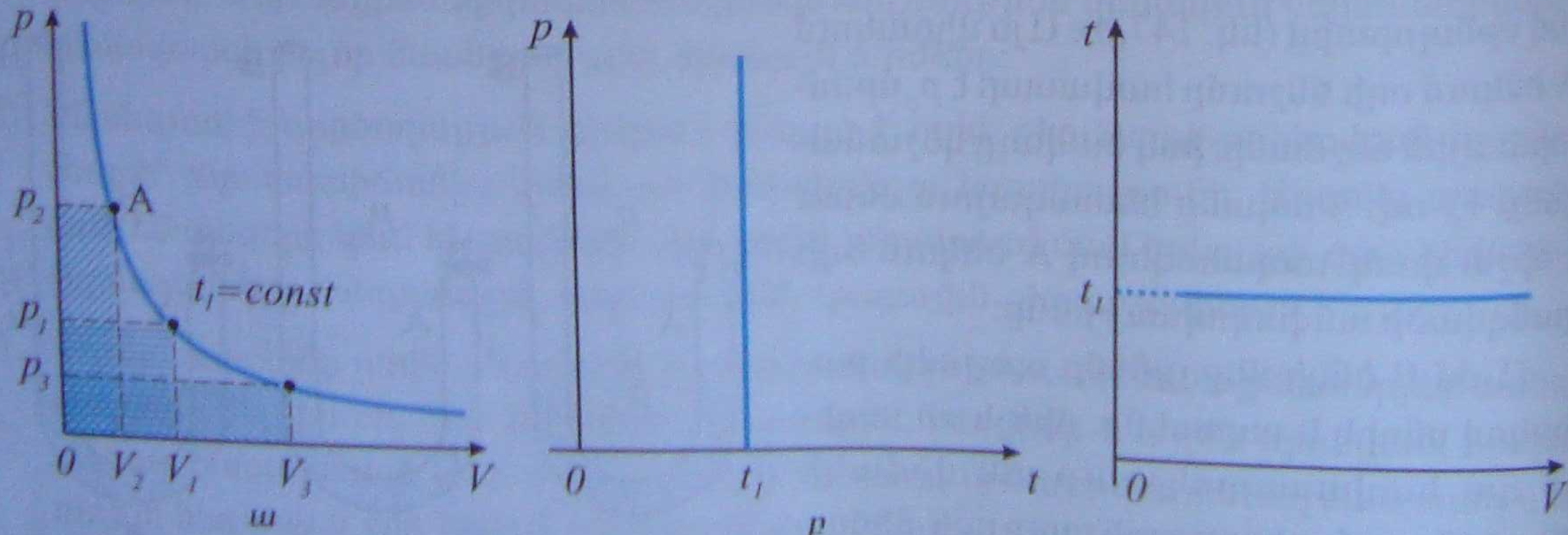
Եթե (14.2) հավասարումը գրվի գազի երկու կամայական վիճակների համար, որոնք բնութագրվում են p_1, V_1, t և p_2, V_2, t պարամետրերով, ապա կունենանք՝

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (m = const,\ t = const)\ : \qquad (14.3)$$

Գազի ճնշման կախումը ծավալից պատկերող կորը կոչվում է ***իզոթերմ***: Եթե կոորդինատային առանցքների վրա տեղադրենք գազի ճնշման ու ծավալի արժեքները, ապա այդ կախումը, ըստ (14.2) առնչության, կպատկերվի հիպերբոլի մի ճյուղով (երկրորդ՝ բացասական V-երին համապատասխանող ճյուղը ֆիզիկական իմաստ չունի):

Տվյալ իզոթերմի վրա A կետի յանկացած դիրքում ստվերագծված ուղղանկյունների մակերեսներն իրար հավասար են ($p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3 = const$) (նկ. 148,*ա*): Իզոթերմ պրոցեսը կարելի է պատկերել նաև (p, t) և (V, t) կոորդինատային հարթությունների վրա (նկ. 148, *բ,գ*):

Փորձը ցույց է տալիս, որ գազի ճնշման և ծավալի արտադրյալը ջերմաստիճանից կախված է ուղիղ համեմատականորեն: Սա նշանակում է, որ տրված ծավալի դեպքում

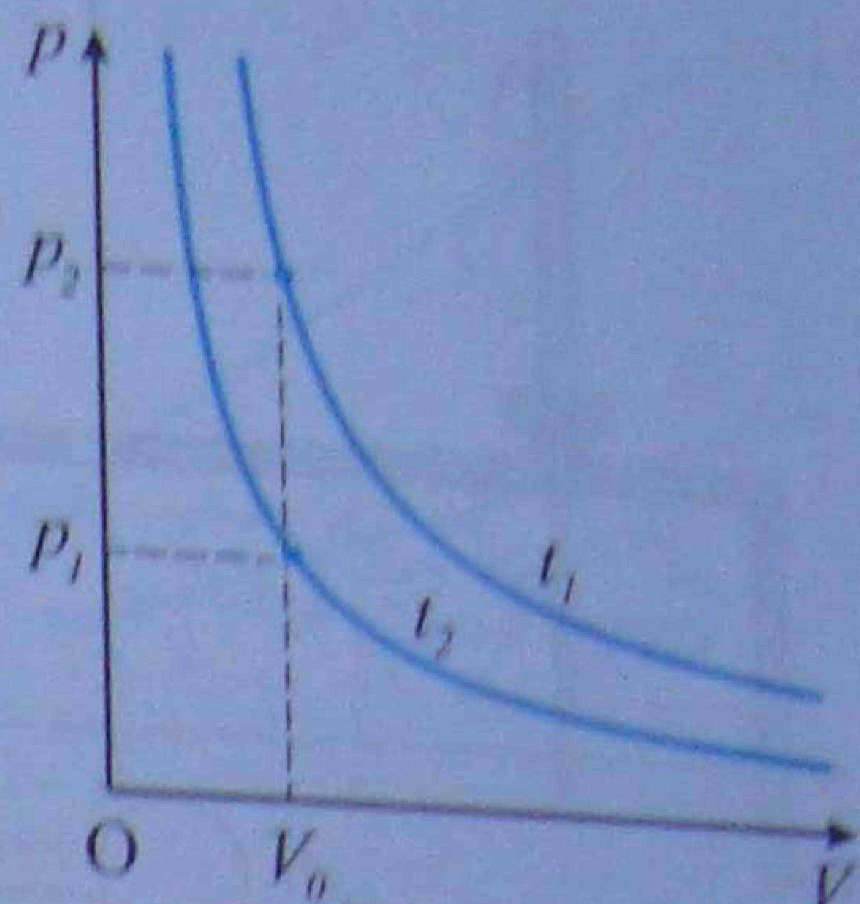


Նկ. 148

ավելի բարձր ջերմաստիճանով իզոթերմին համապատասխանում է ավելի մեծ ճնշում (նկ. 149):

Բոյլ-Մարիոտի օրենքի միջոցով կարելի է որոշել գազի խտության կախումը ճնշումից: Եթե տրված զանգվածով գազը զբաղեցնում է V ծավալ, ապա դրա խտությունը հակադարձ համեմատական է ծավալին: Մյուս կողմից, $m = const$ դեպքում, ըստ Բոյլ-Մարիոտի օրենքի, այն ուղիղ համեմատական է գազի ճնշմանը, այսինքն՝

$$\rho \sim \frac{1}{V} \sim p : \qquad (14.4)$$



Նկ. 149

Այսպիսով՝ որքան մեծ է տրված զանգվածով գազի ճնշումը (հաստատուն ջերմաստիճանում), այնքան մեծ է գազի խտությունը:

Բոյլ-Մարիոտի օրենքը ճիշտ է ցանկացած գազի, ինչպես նաև գազերի խառնուրդների համար: Միայն մթնոլորտային ճնշումից մի քանի հարյուր և ավելի անգամ մեծ ճնշումների և ցածր ջերմաստիճանների դեպքում են դիտվում զգալի շեղումներ օրենքից, ընդ որում, նույն պայմաններում շեղման չափը կախված է գազի տեսակից (աղյուսակ 1):

Աղյուսակ 1

p (10^5Պա)	pV (10^2Պա·մ^3)			
	H_2	N_2	O_2	օդ
1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
100	1,0690	0,9941	0,9265	0,9730
500	1,3565	1,3900	1,1560	1,3400
1000	1,7200	2,0685	1,7355	1,9920

Հարցեր և առաջադրանքներ

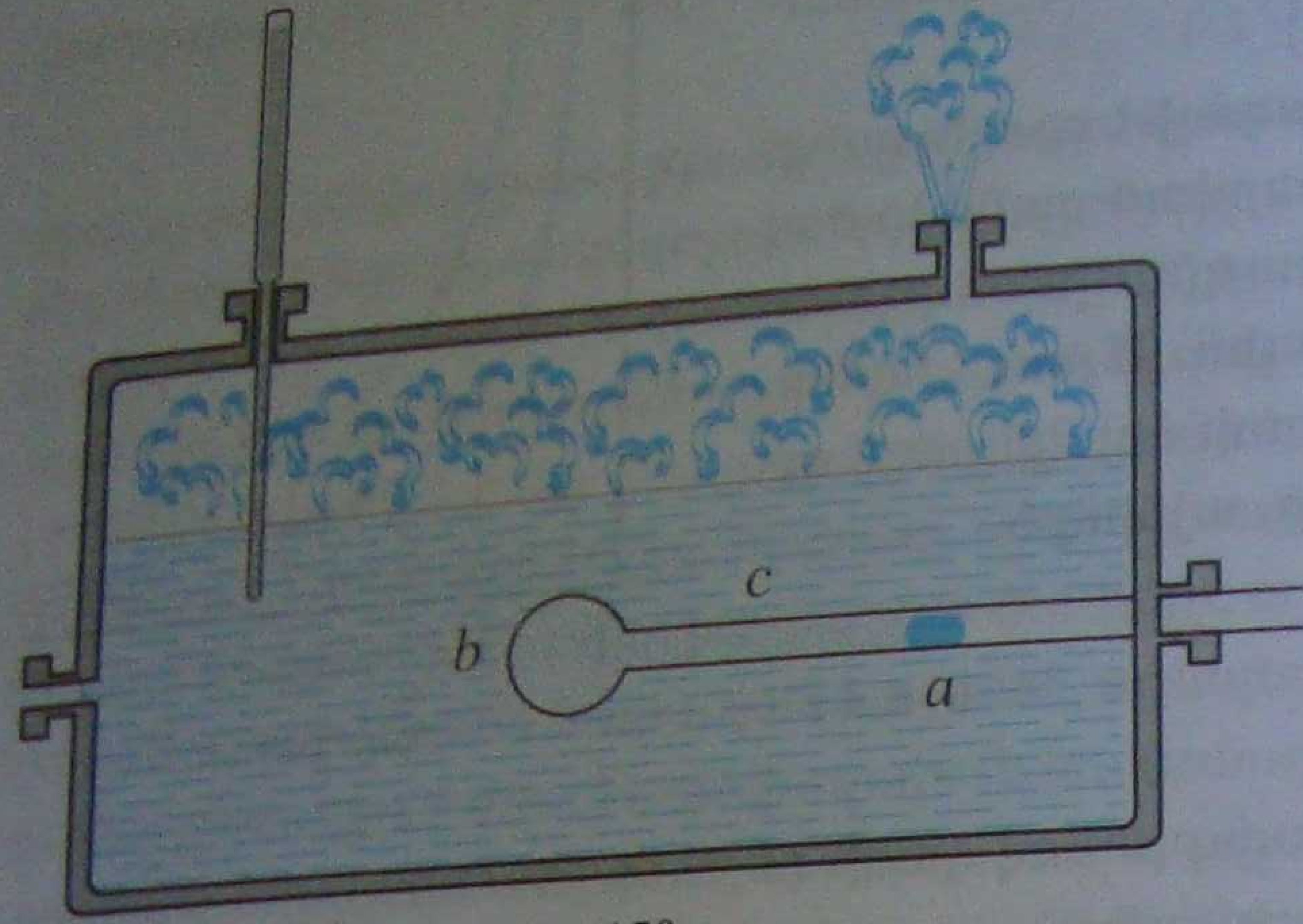
1. *Թվարկե՛ք գազի վիճակը բնութագրող հիմնական մակրոսկոպական պարամետրերը:*
2. *Տվե՛ք իզոթերմ պրոցեսի սահմանումը:*
3. *Ձևակերպե՛ք Բոյլ-Մարիոտի օրենքը:*
4. *Դուք ուռեցրել եք ձեր այտերը: Այդ դեպքում բերանում օդի թե՛ ծավալը, թե՛ ճնշումը մեծացել են: Այդ փաստն արդյոք չի՞ հակասում Բոյլ-Մարիոտի օրենքին:*
5. *Գծե՛ք իզոթերմ պրոցեսում գազի ճնշման՝ ծավալից կախումն արտահայտող գրաֆիկը:*
6. *Գծե՛ք իզոթերմ պրոցեսում գազի խտության՝ ճնշումից ունեցած կախումն արտահայտող գրաֆիկը:*

§ 64. Գեյ-Լյուսակի օրենքը

1802 թ. ֆրանսիացի գիտնական Ժ. Գեյ-Լյուսակը փորձով հայտնաբերեց տրված զանգվածով գազի ծավալի և ջերմաստիճանի կապը հաստատուն ճնշման դեպքում: Ջերմադինամիկական համակարգի վիճակի փոփոխությունը հաստատուն ճնշման դեպքում կոչվում է ***իզոբար պրոցես*** (հունարեն «իզոս»՝ հավասար և «բարոս»՝ ծանրություն բառերից):

Գեյ-Լյուսակի փորձարարական սարքի սխեման պատկերված է նկ. 150-ում: Հետազոտվող գազը գտնվում է b ապակե բալոնում և փակված է a սնդիկի կաթիլով, որը կարող է ազատ տեղաշարժվել մթնոլորտի հետ հաղորդակցվող գլանաձև բարակ և

հորիզոնական դիրք ունեցող ապակե երկար c խողովակում՝ ապահովելով բալոնում օդի ճնշման հավասարությունն արտաքին (մթնոլորտային) ճնշմանը: Գազի ջերմաստիճանը կարելի է փոփոխել 0°C-ից մինչև 100°C (եթե արտաքին ճնշումը հավասար է նորմալ մթնոլորտային ճնշմանը)՝ տաքացնելով կաթսայի ջուրը: Գազի ծավալի փոփոխությունը որոշվում է սնդիկի կաթիլի տեղաշարժով:



Նկ. 150

Դիցուք՝ $t_0 = 0°C$ ջերմաստիճանում բալոնում գտնվող գազը զբաղեցնում է V_0 ծավալ: t ջերմաստիճանում այն կզբաղեցնի V ծավալ: $\Delta V = V - V_0$ մեծությունը գազի ծավալի փոփոխությունն է ջերմաստիճանը t-ով փոխելիս: ΔV-ն կախված է ինչպես t-ից, այնպես էլ գազի սկզբնական V_0 ծավալից: Գազի սկզբնական ծավալի յուրաքանչյուր միավորի՝ $\Delta V/V_0$ հարաբերական ծավալի փոփոխությունը 1°C-ով ջերմաստիճանը փոփոխելիս հավասար է $\Delta V/V_0 t$: Բազմաթիվ, այդ թվում՝ նաև տարբեր գազերի հետ կատարված փորձերի հիման վրա Գեյ-Լյուսակը հայտնաբերել է, որ տվյալ քանակով գազի համար հաստատուն ճնշման դեպքում այդ հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է.

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 t} = const, \quad \text{երբ} \quad m = const, \; p = const, \qquad (14.5)$$

որտեղ α մեծությունը ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցն է: Եթե հայտնի է գազի ծավալը 0°C ջերմաստիճանում, ապա t ջերմաստիճանում այն կարելի է որոշել (14.5) բանաձևից՝

$$\Delta V = \alpha V_0 t \quad \text{կամ} \quad V = V_0 (1 + \alpha t) \; : \qquad (14.6)$$

Այսպիսով՝ ***տվյալ քանակով գազի ծավալն իզոբար պրոցեսում ջերմաստիճանից կախված փոփոխվում է գծային օրենքով:***

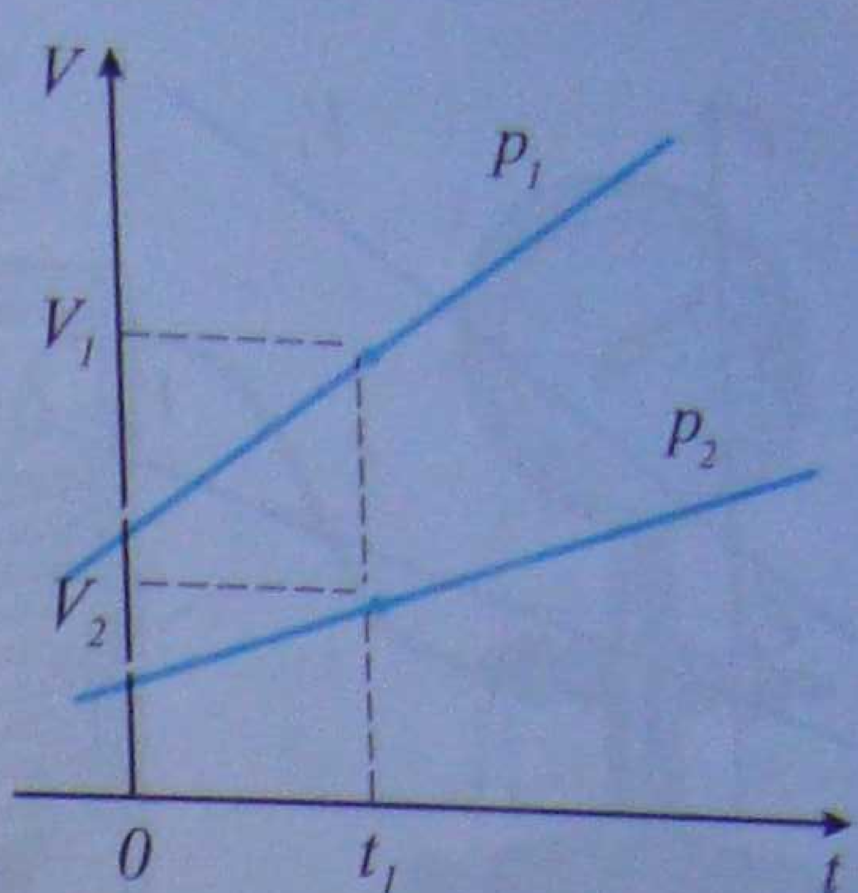
Փորձերից α ծավալային ընդարձակման գործակցի համար ստացվում է

$$\alpha \approx \frac{1}{273°C} \qquad (14.7)$$

արժեքը: Նկատի ունենալով α գործակցի հաստատունությունը՝ Գեյ-Լյուսակի օրենքը կարելի է ձևակերպել նաև այսպես. ***բոլոր գազերը 1°C-ով տաքանալիս իրենց ծավալը մեծացնում են 0°C-ում ունեցած ծավալի 1/273 մասի չափով.***

$$\Delta V = V - V_0 = V_0 \cdot \frac{1}{273°C} \cdot 1°C = \frac{V_0}{273} \; : \qquad (14.8)$$

Ծավալի՝ ջերմաստիճանից ունեցած (14.6) կախումը V, t կոորդինատային հարթության վրա պատկերվում է ուղիղ գծով, որը կոչվում է ***իզոբար*** (նկ. 151): Տարբեր հաստատուն ճնշումների համապատասխանում են տարբեր իզոբարներ: Որպեսզի պարզենք, թե որ ճնշումն է մեծ՝ p_1-ը, թե՞ p_2-ը, տանենք t_1 կամայական ջերմաստիճանում մի ուղիղ (կետագիծ): Քանի որ տրված ջերմաստիճանում, ըստ Բոյլ-Մարիոտի օրենքի, ծավալի և ճնշման արտադրյալը նույնն է, ապա ակնհայտ է, որ $p_2 > p_1$: Իզոբար պրոցեսը կարելի է պատկերել նաև (p, t) և (p, V) կոորդինատային հարթությունների վրա:



Նկ. 151

Ինչպես և Բոյլ-Մարիոտի օրենքը, Գեյ-Լյուսակի օրենքը մոտավոր բնույթ ունի. մեծ խտությունների և ցածր ջերմաստիճանների դեպքում դիտվում են զգալի շեղումներ այդ օրենքից:

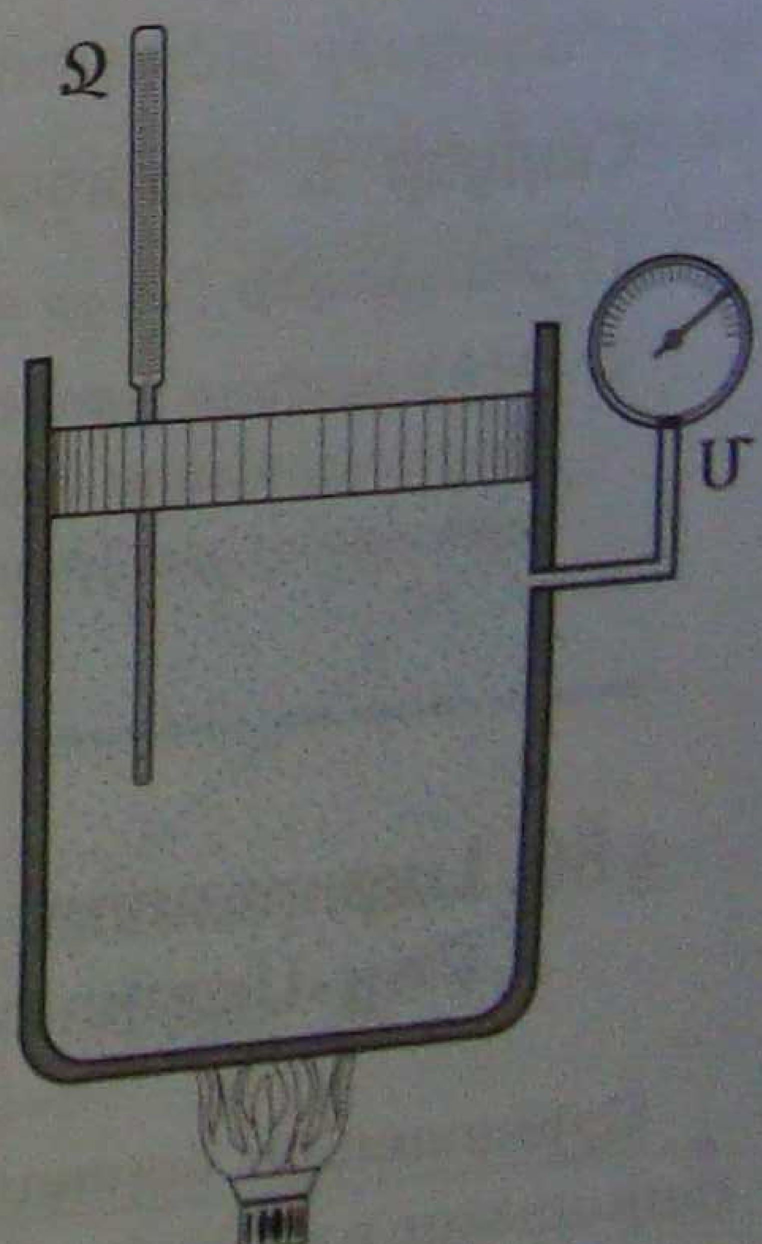
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք Գեյ-Լյուսակի օրենքը:*
2. *Գծե՛ք իզոբար պրոցեսում գազի ծավալի՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախումն արտահայտող գրաֆիկը:*
3. *Գտե՛ք հաստատուն ճնշման դեպքում գազի խտության՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախման բանաձևը:*
4. *Ի՞նչ է ցույց տալիս α ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցը:*

§ 65. Շառլի օրենքը

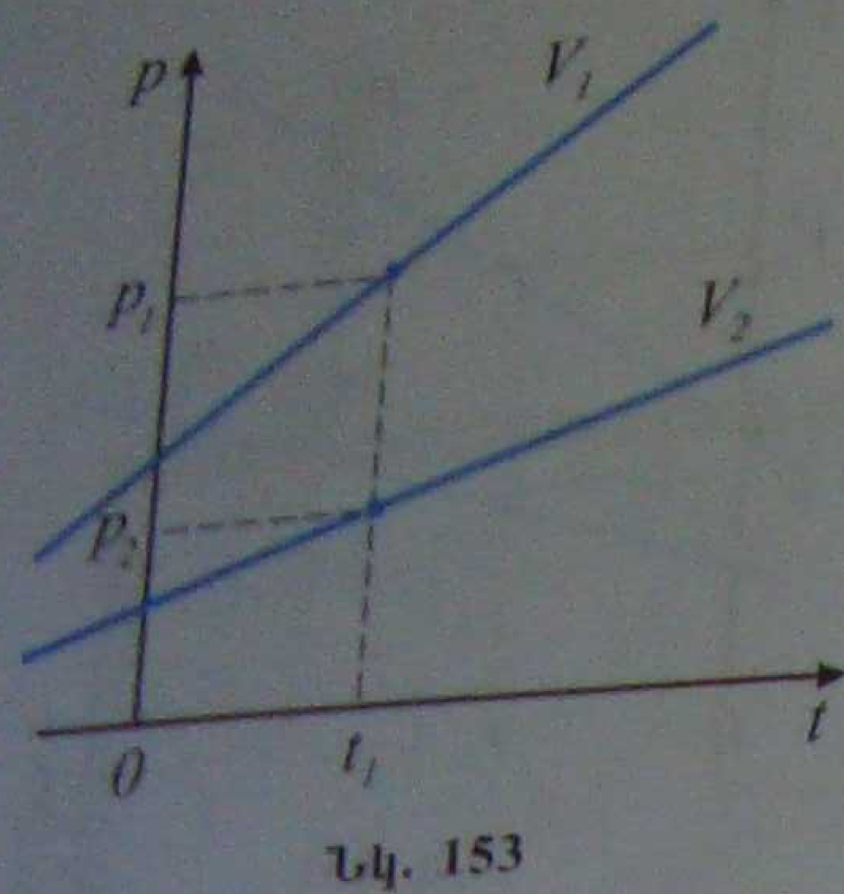
1787 թ. ֆրանսիացի գիտնական Ժ.Շառլը փորձնական ճանապարհով հայտնաբերել տրված քանակով գազի ճնշման և ջերմաստիճանի կապը, երբ գազի ծավալը պահվում է հաստատուն: Համակարգի վիճակի փոփոխությունը հաստատուն ծավալի դեպքում կոչվում է ***իզոխոր պրոցես*** (հունարեն «իզոս»՝ հավասար և «խորեմա»՝ տարողություն բառերից):

Շառլի փորձի սխեման պատկերված է նկ. 152-ում: Գլանում գազի ծավալը որոշվում է մխոցի դիրքով: Մխոցը կարելի է անշարժ ամրացնել տարբեր դիրքերում՝ ապահովելով ինչպես գազի քանակի, այնպես էլ դրա զբաղեցրած ծավալի հաստատունությունը: Գազը տաքացվում է ջեռուցիչի միջոցով, նրա ջերմաստիճանը որոշում են **Ջ** ջերմաչափի, իսկ ճնշումը՝ **Մ** մանոմետրի միջոցով:



Նկ. 152

Բազմաթիվ փորձերի արդյունքում Շառլը հայտնաբերել, որ տրված քանակով գազի ճնշման հարաբերական (այսինքն՝ ճնշման յուրաքանչյուր միավորի) փոփոխությունը իզոխոր պրոցեսում ուղիղ համեմատական է ջերմաստիճանի փոփոխությանը: Եթե $t_0 = 0°C$ ջերմաստիճանում գազի ճնշումը p_0 է, իսկ t ջերմաստիճանում՝ p, ապա՝



Նկ. 153

$$\frac{p-p_0}{p_0}=\gamma t, \text{ երբ } m = const, \; V = const, \quad (14.9)$$

որտեղ γ մեծությունը կոչվում է ճնշման ջերմաստիճանային գործակից: Փորձը ցույց է տալիս, որ այն հավասար է α ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակցին՝ $\gamma = \alpha$:

Եթե հայտնի է գազի ճնշումը 0°C ջերմաստիճանում, ապա t ջերմաստիճանում դրա ճնշումը, ըստ (14.9) բանաձևի, կլինի՝

$$\boxed{\Delta p = \alpha p_0 t \quad \text{կամ} \quad p = p_0(1+\alpha t)} : \quad (14.10)$$

Այսպիսով՝ ***տրված քանակով գազի ճնշումն իզոխոր պրոցեսում ջերմաստիճանից կախված փոփոխվում է գծային օրենքով***: (14.10) բանաձևի համաձայն՝ Շառլի օրենքը կարելի է ձևակերպել նաև այսպես. ***բոլոր գազերը 1°C-ով տաքանալիս իրենց ճնշումը մեծացնում են 0°C-ում ունեցած ճնշման 1/273 մասի չափով.***

$$\Delta p = p - p_0 = p_0 \cdot \frac{1}{273\,°C} \cdot 1°C = \frac{p_0}{273} : \quad (14.11)$$

Ճնշման՝ ջերմաստիճանից (14.10) բանաձևով տրվող կախումը p, t կոորդինատային հարթության վրա պատկերվում է ուղիղ գծով, որը կոչվում է ***իզոխոր*** (նկ. 153): Տարբեր հաստատուն ծավալների համապատասխանում են տարբեր իզոխորներ:

Առաջին իզոխորին համապատասխանող V_1 ծավալը փոքր է V_2-ից, քանի որ տրված t_1 ջերմաստիճանում, ըստ Բոյլ-Մարիոտի օրենքի, ծավալի և ճնշման արտադրյալը հաստատուն մեծություն է: Իզոխոր պրոցեսը կարելի է պատկերել նաև (p, V) և (V, t) կոորդինատային հարթությունների վրա:

Մեծ խտությունների և ցածր ջերմաստիճանների դեպքում դիտվում են շեղումներ Շառլի օրենքից:

Հարցեր և առաջադրանքներ

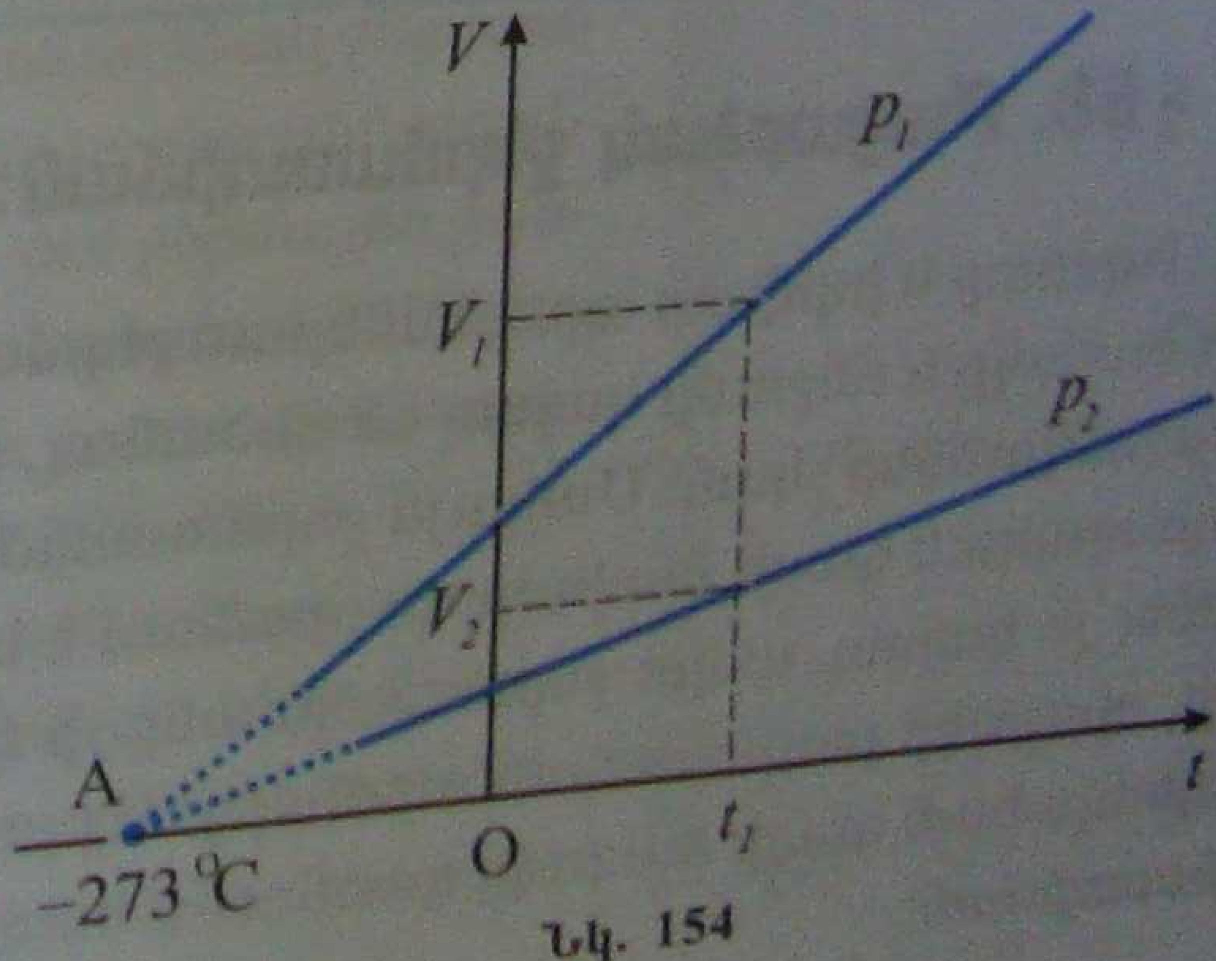
1. *Ձևակերպե՛ք Շառլի օրենքը:*
2. *Գծե՛ք իզոխոր պրոցեսում գազի ճնշման՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախումն արտահայտող գրաֆիկը:*
3. *Բնակարանը ջեռուցելիս օդի ճնշումը չի փոփոխվում: Այդ փաստն արդյոք չի՞ հակասում Շառլի օրենքին:*
4. *Ինչպե՞ս կարելի է իրականացնել իզոբերմ, իզոբար և իզոխոր պրոցեսները:*

§ 66. Լաբորատոր աշխատանք N 9. Բոյլ-Մարիոտի օրենքի փորձնական հաստատումը

Աշխատանքի նպատակը. Ուսումնասիրել իզոթերմ պրոցես՝ գազի ծավալների հարաբերությունը հաստատուն ջերմաստիճանում համեմատելով ճնշումների հարաբերության հետ:

Չափամիջոցներ. 1. ցուցադրական փակ մանոմետր (0÷1,6 մթն. սանդղակով):

Նյութեր և սարքեր. 1. փոփոխական ծավալով (ծալքավոր) գլան, 2. ռետինե խողովակ:



Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ծալքավոր գլանը, որը գտնվում է չսեղմված վիճակում, ռետինե խողովակի միջոցով միացնել մանոմետրին, փակել մանոմետրի ազատ ծորակը, որպեսզի գազի զանգվածը գլանում մնա անփոփոխ:

2. Գրանցել ծալքավոր գլանի ծավալը ցուցադրական սանդղակի միջոցով և մանոմետրի ցուցմունքը: Ստացված արդյունքները գրանցել աղյուսակում:

V	p	Vp
V_1	p_1	V_1p_1

3. Պտուտակի միջոցով դանդաղ սեղմել գլանը և գրանցել ծավալի ու ճնշման տվյալները:

4. Կատարել 4 կամ 5 գրանցում և համոզվել, որ pV արտադրյալը չի փոփոխվում:

§ 67. Իդեալական գազ

Շառլի և Գեյ-Լյուսակի կատարած փորձերում ջերմաստիճանները, որպես կանոն, փոփոխվել են 0°C-ին մոտ և դրանից բարձր ջերմաստիճանային տիրույթում (նրանց ապրած ժամանակաշրջանում փորձով դեռևս ցածր ջերմաստիճաններ ստանալն անհնար էր):

Եթե, օրինակ, նկ. 151-ում պատկերված իզոբարները շարունակենք դեպի ցածր ջերմաստիճանների տիրույթ, ապա դրանք ջերմաստիճանի առանցքը կհատեն A կետում, որին համապատասխանում է զրոյի հավասար ծավալ (նկ. 154): Այս արդյունքը հակասում է փորձին հետևյալ երկու տեսանկյունից.

1. Ցանկացած գազ կազմված է մոլեկուլներից, որոնք ունեն չափազանց փոքր, բայց վերջավոր չափեր: Գազի ծավալը չի կարող փոքր լինել գազի մոլեկուլների ծավալների գումարից՝ $V = NV_0$, որտեղ N-ը մոլեկուլների թիվն է, V_0-ն՝ մեկ մոլեկուլի ծավալը: Օրինակ՝ 1 սմ^3-ում գտնվող օդի մոլեկուլների զբաղեցրած «սեփական» ծավալը $10^{19}\cdot10^{-23}$ սմ$^3=10^{-4}$ սմ^3 կարգի մեծություն է:

2. Հայտնի է, որ սառեցնելիս գազերը վերածվում են հեղուկների, իսկ ավելի ցածր

V
p_1
p_2
V_1
V_2
A
O
t_1
t
−273 °C

Նկ. 154

ջերմաստիճաններում՝ պինդ բյուրեղային մարմինների: Հեղուկների և պինդ մարմինների համար գազային վիճակի օրենքները կիրառելի չեն:

Այսպիսով, եթե նշված երկու հանգամանքները բացակայեին, ապա գազային օրենքները տեղի կունենային ջերմաստիճանների ողջ տիրույթում: Կարելի է մտցնել իդեալական գազի հասկացությունը՝ որպես մասնիկների համակարգի, որը ճշգրտորեն ենթարկվում է գազային օրենքներին: ***Իդեալական գազ կոչվում է այն համակարգը, որի մասնիկների միջև ձգողության ուժերը բացակայում են, իսկ վանողության ուժերը դրսևորվում են գազի մասնիկների բախումների ձևով: Իդեալական գազը կազմող մասնիկների չափերը ձգտում են զրոյի:*** Այլ կերպ ասած՝ ***իդեալական գազը կարելի է պատկերացնել որպես անվերջ փոքր շառավղով կոշտ գնդիկների հանրություն, որոնց փոխազդեցության միակ մեխանիզմը առաձգական բախումներն են:***

Իդեալական գազն իրական գազի պարզագույն ֆիզիկական մոդելն է, այնպես, ինչպես մեզ ծանոթ նյութական կետի կամ բացարձակ պինդ, չդեֆորմացվող մարմնի մոդելները: Այս մոդելի հիմքում դրված են մոլեկուլների այն ամենահիմնական հատկությունները, որոնց հաշվառումն անհրաժեշտ է ջերմաստիճանի և ճնշման որոշակի տիրույթներում իրական գազերի վարքը բացատրելու համար:

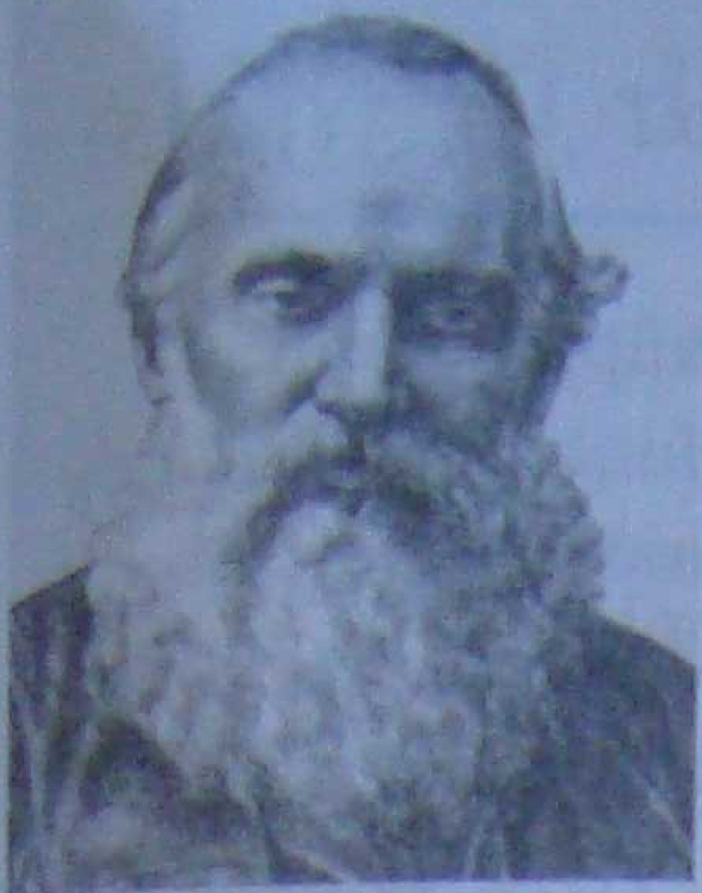
Իրական գազերը նկարագրելու համար ի՞նչ պայմաններում կարելի է օգտվել գազային օրենքներից, որոնք իրավացի են միայն իդեալական գազերի համար: Այլ կերպ ասած՝ ***ի՞նչ պայմաններում իրական գազերը կարելի է համարել իդեալական:*** Իրական գազը կարելի է համարել իդեալական, եթե նրա մոլեկուլների ձգողությամբ պայմանավորված պոտենցիալ էներգիան մոդուլով շատ փոքր է մոլեկուլների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայից: Որքան բարձր է գազի ջերմաստիճանը, այնքան մեծ է գազի մոլեկուլների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիան (տե՛ս § 71), որքան նոսր է գազը, այնքան մեծ է մոլեկուլների միջին հեռավորությունը և, հետևաբար, փոքր է ձգողության պոտենցիալ էներգիայի մոդուլը: Այսպիսով՝ ***իրական գազն իրեն պահում է իդեալական գազի նման բարձր ջերմաստիճանների և փոքր խտությունների դեպքում:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք իդեալական գազի սահմանումը:*
2. *Փոխազդո՞ւմ են արդյոք իդեալական գազի մոլեկուլները (ատոմները):*
3. *Ե՞րբ կարելի է իրական գազը համարել իդեալական:*

§ 68. Բացարձակ ջերմաստիճան: Կելվինի սանդղակ

Իզոբար և իզոխոր պրոցեսներում ջերմաստիճանը բարձրացնելիս իդեալական գազի ծավալը և ճնշումը կարող են մեծանալ, քանի որ ջերմաստիճանի աճի վրա սահմանափակումներ չկան: Սակայն ջերմաստիճանն իջեցնելիս, ըստ Գեյ-Լյուսակի օրենքի, իդեալական գազի ծավալը փոքրանում է և ձգտում զրոյի: Քանի որ այն բացասական լինել չի կարող, ապա ջերմաստիճանը չի կարող փոքր լինել, ըստ Ցելսիուսի սանդղակի, որոշակի բացասական արժեքից: Այդ սահմանային ջերմաստիճանը, որի դեպքում իդեալական գազի ծավալը դառնում է հավասար զրոյի, կոչվում է ***բացարձակ զրո ջերմաստիճան:***



Թոմսոն Ուիլյամ (լորդ Կելվին) (1824–1907)

Անգլիացի ֆիզիկոս, ջերմադինամիկայի հիմնադիրներից: Աշխատանքները վերաբերում են ջերմադինամիկային, հիդրոդինամիկային, էլեկտրամագնիսականությանը և տեխնիկային: Ձևակերպել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը, ներմուծել բացարձակ ջերմաստիճանի գաղափարը և բացարձակ ջերմաստիճանային (Կելվինի) սանդղակը:

Բացարձակ զրո ջերմաստիճանի արժեքը ստանանք ըստ Ցելսիուսի սանդղակի: Դիցուք՝ t_0 ջերմաստիճանում իդեալական գազի ծավալը հավասարվում է զրոյի: Գեյ-Լյուսակի օրենքի (14.6) բանաձևի համաձայն՝

$$0 = V_0(1 + \alpha t_0) \; : \qquad (14.12)$$

Քանի որ $V_0 \neq 0$, ապա (14.12) բանաձևից t_0-ի համար կստանանք՝

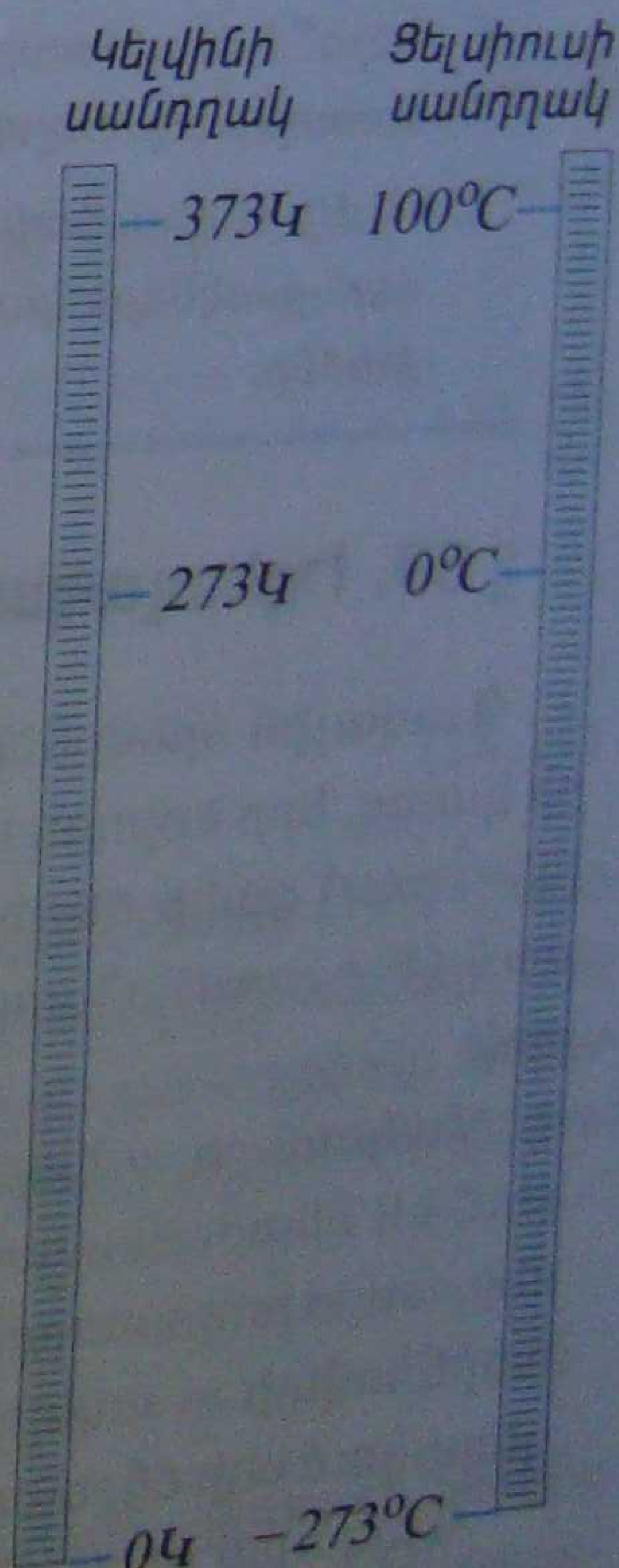
$$t_0 = -\frac{1}{\alpha} = -273\,°C \; : \qquad (14.13)$$

Այսպիսով, ***ըստ Ցելսիուսի սանդղակի, բացարձակ զրոն հավասար է*** -273°C: Սա բնության մեջ ջերմաստիճանի հնարավոր նվազագույն արժեքն է: Այս ջերմաստիճանում իդեալական գազի ճնշումը նույնպես հավասար է զրոյի:

Անգլիացի գիտնական Ու. Թոմսոնն առաջարկել է ջերմաստիճանների բացարձակ սանդղակ, որի 0-ն համընկնում է Ցելսիուսի սանդղակի -273°C-ի հետ և կոչվում է բացարձակ զրո ջերմաստիճան, իսկ յուրաքանչյուր աստիճանը հավասար է 1°C-ի: Կապը Կելվինի (կամ բացարձակ) T ջերմաստիճանի և Ցելսիուսի սանդղակի t ջերմաստիճանի միջև տրվում է

$$T = t + 273 \qquad (14.14)$$

բանաձևով (նկ. 155): Կելվինի սանդղակի միավորը ՄՀ-ում 1 կելվինն է (1Կ), որը հիմնական միավոր է: Քանի որ t-ի ամենափոքր արժեքը -273°C-ն է, ապա (14.14) բանաձևից ակնհայտ է, որ բացարձակ ջերմաստիճանն ընդունում է միայն դրական արժեքներ:

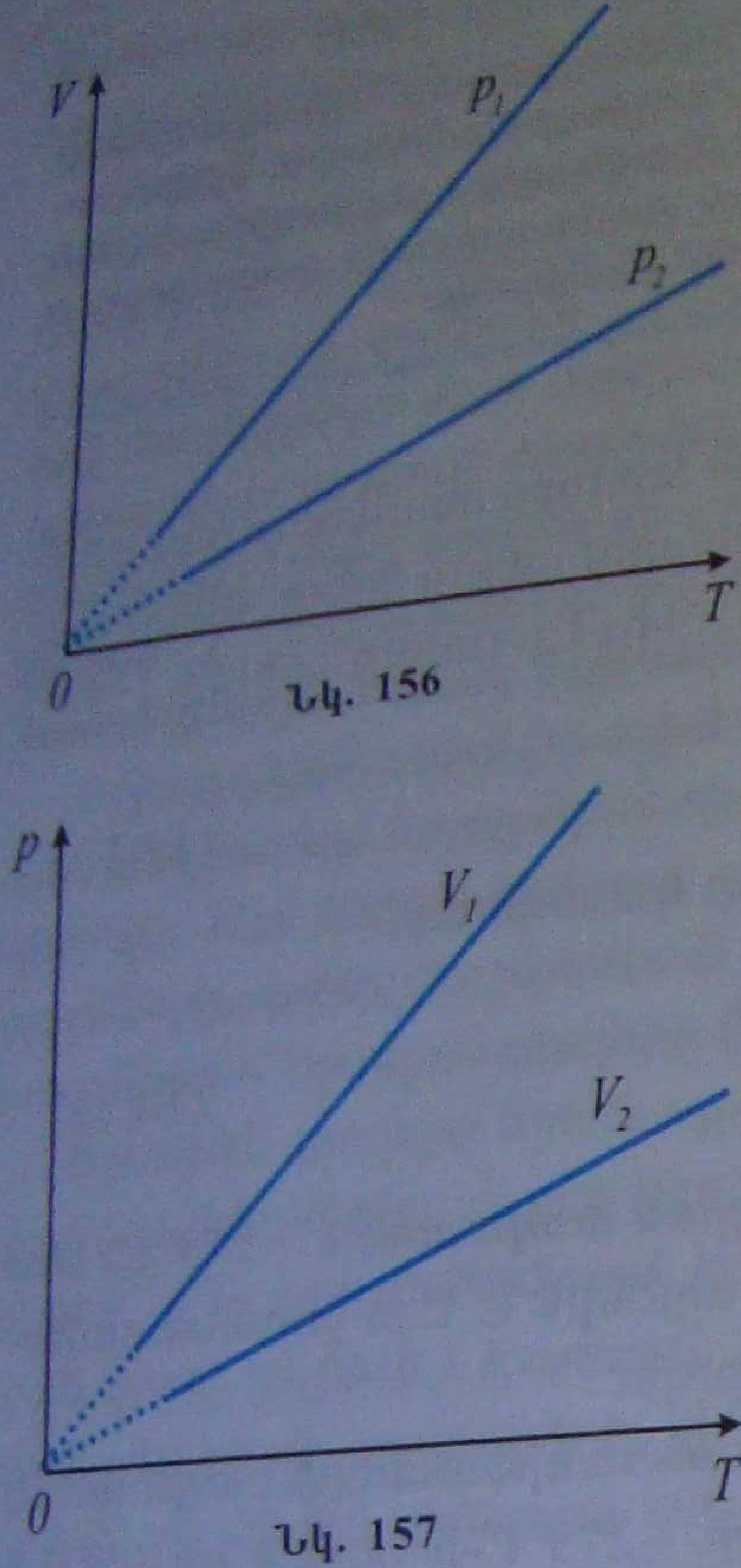


Նկ. 155

Ըստ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության՝ բացարձակ ջերմաստիճանը կապված է ատոմների և մոլեկուլների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի հետ: ***T = 0Կ-ում ջերմային շարժումը (բայց ոչ շարժումն ընդհանրապես) դադարում է:*** Անմիջական կապը բացարձակ ջերմաստիճանի և քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի միջև կտրվի § 71-ում:

Բացարձակ ջերմաստիճանային սանդղակի ներմուծումը պարզեցնում է Գեյ-Լյուսակի և Շառլի օրենքների մաթեմատիկական ձևակերպումը: Իրոք, այդ օրենքների բանաձևերում ջերմաստիճանային երկանդամը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$1+\alpha t = 1+\alpha\left(T-\frac{1}{\alpha}\right)=\alpha T\ , \qquad (14.15)$$



որի օգնությամբ Գեյ-Լյուսակի օրենքը կտրվի

$$V = V_0\alpha T \qquad (14.16)$$

բանաձևով (նկ. 156), իսկ Շառլի օրենքը՝

$$p = p_0\alpha T \qquad (14.17)$$

բանաձևով, քանի որ $\gamma = \alpha$ (նկ. 157)։ Այսպիսով՝ տվյալ քանակով գազի տարբեր վիճակներում ծավալների հարաբերությունը հաստատուն ճնշման դեպքում հավասար է բացարձակ ջերմաստիճանների հարաբերությանը՝

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{T_1}{T_2}\quad (m = const,\ p = const)\ : \qquad (14.18)$$

Համանման ձևով կարելի է ներկայացնել նաև Շառլի օրենքը՝

$$\frac{p_1}{p_2}=\frac{T_1}{T_2}\quad (m = const,\ V = const)\ : \qquad (14.19)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

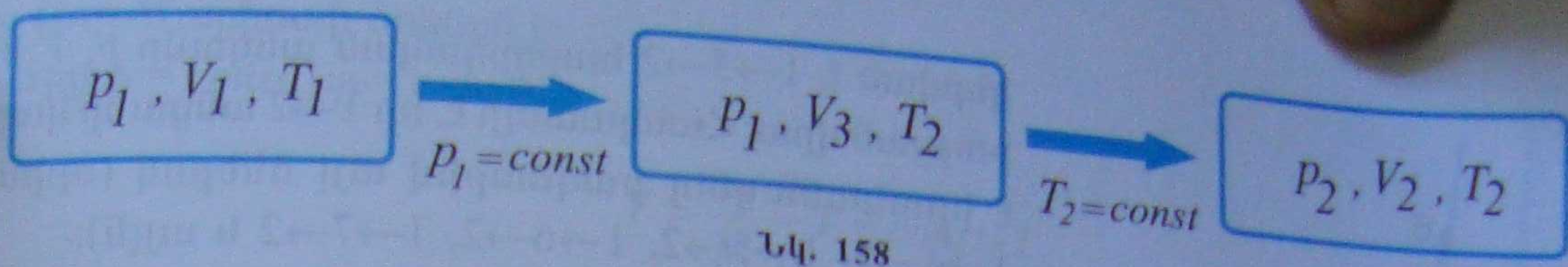
1. *Ինչի՞ է հավասար բացարձակ զրո ջերմաստիճանը Ցելսիուսի սանդղակով։*
2. *Գրե՛ք բացարձակ (Կելվինի) և Ցելսիուսի սանդղակների կապն արտահայտող բանաձևը։*
3. *Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի բացարձակ զրո ջերմաստիճանը։*
4. *Գրե՛ք բացարձակ (Կելվինի) և Ֆարենհայտի սանդղակների կապն արտահայտող բանաձևը։*

§ 69. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումը

Գազային օրենքները նկարագրում են տրված քանակով գազի երկու պարամետրերի կապը, երբ երրորդ պարամետրը մնում է հաստատուն։ Այսպես, իզոթերմ պրոցեսում ($T = const$) գազի ճնշման և ծավալի կապը տրվում է Բոյլ-Մարիոտի, իզոխոր պրոցեսում ($V = const$)՝ Շառլի, իսկ իզոբար պրոցեսում ($p = const$)՝ Գեյ-Լյուսակի օրենքներով։

Սակայն շատ հաճախ գազի վիճակը բնութագրող բոլոր պարամետրերը փոփոխվում են միաժամանակ։ Օրինակ՝ եթե օդով լցված ռետինե գնդակը խորասուզենք ջրի մեջ, ապա խորասուզմանը զուգընթաց գազի ջերմաստիճանը կնվազի (ջրի ստորին շերտերն ավելի ու ավելի սառն են), գնդակը կսեղմվի. ծավալը կփոքրանա, կփոխվի նաև գնդակում օդի ճնշումը։

Գազային օրենքների իմացությունը թույլ է տալիս կապ հաստատել տրված քանակով գազի վիճակը բնութագրող T, p, V պարամետրերի միջև։ Ընդհանրապես յանկացած



p_1, V_1, T_1 → ($p_1 = const$) → p_1, V_3, T_2 → ($T_2 = const$) → p_2, V_2, T_2

Նկ. 158

ջերմադինամիկական համակարգի վիճակը բնութագրող պարամետրերի միջև կապը կոչվում է ***վիճակի հավասարում***: Այն ամենապարզ տեսքն ունի իդեալական գազի համար:

Ստանանք իդեալական գազի վիճակի հավասարումը` կապը $p$, $V$ և $T$ պարամետրերի միջև, երբ գազի քանակը ջերմադինամիկական պրոցեսում մնում է անփոփոխ` $m = const$:

Դիցուք` $p_1$, $V_1$ և $T_1$ պարամետրերով վիճակում (1-ին վիճակ) գտնվող գազը որևէ պրոցեսի արդյունքում անցնում է $p_2$, $V_2$ և $T_2$ պարամետրերով վիճակի (2-րդ վիճակ): Կապ հաստատենք 1-ին և 2-րդ վիճակները բնութագրող պարամետրերի միջև: Այդ նպատակով 1-ինից 2-րդ վիճակին անցումն իրականացնենք երկու նվագով: Նախ` իզոբար պրոցեսի օգնությամբ անցնենք 3-րդ միջանկյալ վիճակին, իսկ հետո` իզոթերմ պրոցեսի օգնությամբ` 2-րդ վիճակին (նկ. 158):

1→3 անցման արդյունքում իդեալական գազն իզոբար ձևով անցնում է p_1, V_3, T_2 միջանկյալ վիճակին, հետևաբար, Գեյ-Լյուսակի օրենքի համաձայն`

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{T_1}{T_2} \quad (p_1 = const) \ : \tag{14.20}$$

3→2 իզոթերմ պրոցեսի արդյունքում գազն անցնում է p_2, V_2, T_2 վերջնական վիճակի, հետևաբար, Բոյլ-Մարիոտի օրենքի համաձայն`

$$p_1 V_3 = p_2 V_2 \quad (T_2 = const) \ : \tag{14.21}$$

(14.20) բանաձևից որոշված

$$V_3 = V_1 \frac{T_2}{T_1} \tag{14.22}$$

արտահայտությունը տեղադրելով (14.21) բանաձևի մեջ` կստանանք`

$$p_1 V_1 \frac{T_2}{T_1} = p_2 V_2 \tag{14.23}$$

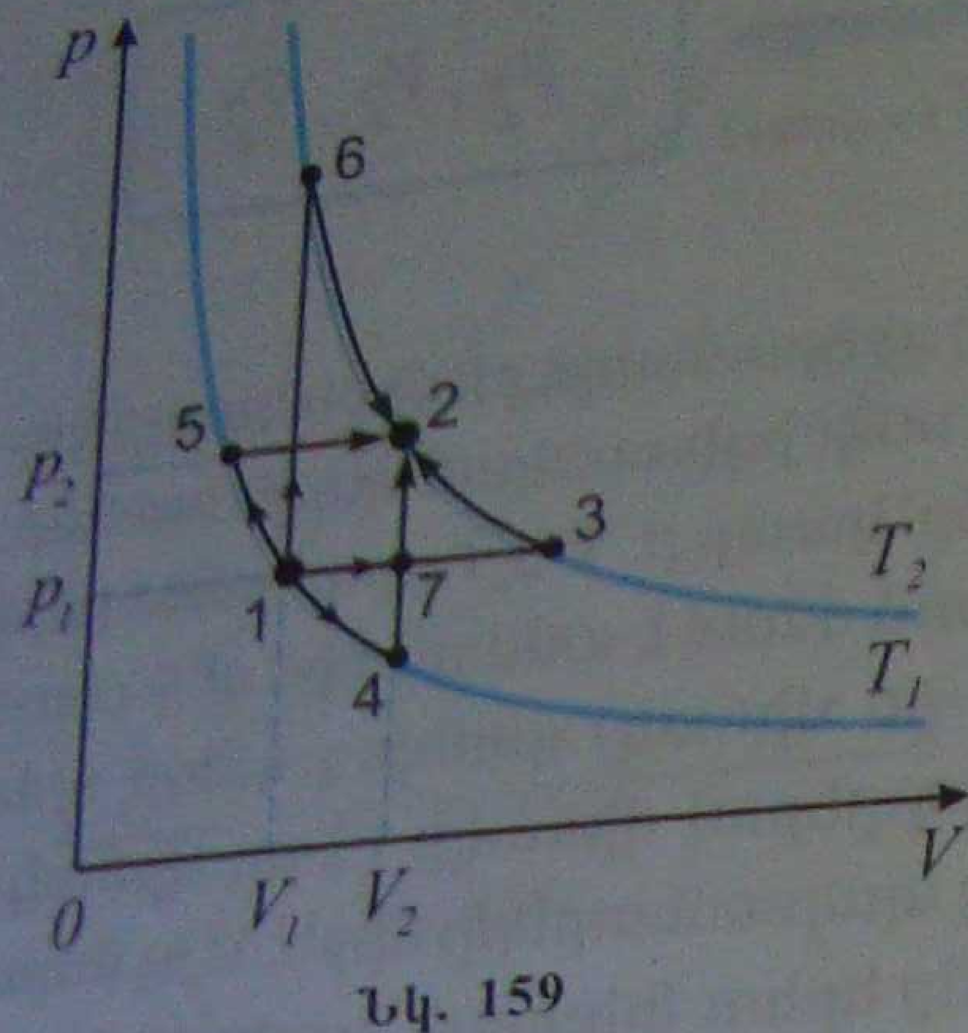
կամ

$$\boxed{\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}} \ : \tag{14.24}$$

Գազի 1-ին և 2-րդ վիճակներն ընտրված են կամայականորեն, ուստի (14.24) առնչությունն իրավացի է ցանկացած վիճակում գտնվող իդեալական գազի համար: Այսպիսով` ***տրված քանակով իդեալական գազի ճնշման և ծավալի արտադրյալի հարաբերությունը գազի բացարձակ ջերմաստիճանին հաստատուն մեծություն է և կախված չէ գազի վիճակից***`

$$\frac{pV}{T} = const, \quad m = const: \tag{14.25}$$

(14.25) հավասարումն իդեալական գազի վիճակի հավասարման գրության ձևերից մեկն է և հայտնի է որպես ***Կլապեյրոնի հավասարում***: Նկ. 159-ում գրաֆիկորեն պատ-



Նկ. 159

կերված է 1→3→2 հաջորդական անցումը p, V հարթության վրա: Հասկանալի է, որ 1→2 անցումը կարելի է իրականացնել բազմաթիվ այլ ձևերով (օրինակ՝ 1→4→2, 1→5→2, 1→6→2, 1→7→2 և այլն):

Այն փաստը, որ $m=const$ դեպքում գազի բնութագրերի միջև տեղի ունի (14.25) կապը, թույլ է տալիս ենթադրել որոշակի կապի առկայություն pV/T և m մեծությունների միջև: Փորձենք ստանալ նաև այդ կապը:

Վերցնենք գազի 1 մոլ և V_M-ով նշանակենք դրա ծավալը: Ինչպես հայտնի է քիմիայի դասընթացից, նորմալ պայմաններում (0°C ջերմաստիճան և նորմալ մթնոլորտային ճնշում՝ p_0 = 101325 Պա) ցանկացած գազի 1 մոլը զբաղեցնում է 0,0224 մ³ ծավալ (V_{0M} = 0,0224 մ³/մոլ), ուստի, ըստ Կլապեյրոնի (14.25) հավասարման՝

$$\frac{pV_M}{T} = \frac{p_0 V_{0M}}{T_0} \approx \frac{101325 \cdot 0,0224}{273} \cdot \frac{\text{Ն}}{\text{մ}^2} \cdot \frac{\text{մ}^3}{\text{մոլ}} \cdot \frac{1}{\text{Կ}} = 8,31 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot \text{Կ}} : \quad (14.26)$$

Այսպիսով՝ գազի մեկ մոլի ծավալի և ճնշման արտադրյալի հարաբերությունը բացարձակ ջերմաստիճանին հաստատուն մեծություն է բոլոր գազերի համար: Այդ հաստատուն մեծությունը նշանակում են R տառով և կոչում ունիվերսալ գազային հաստատուն՝

$$R = 8,31 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot \text{Կ}} : \quad (14.27)$$

(14.26) և (14.27) բանաձևերից 1 մոլ գազի համար կստանանք՝

$$pV_M = RT : \quad (14.28)$$

Եթե այժմ ունենք գազի ոչ թե 1 մոլ, այլ ν մոլ, ապա այն միևնույն p ճնշման տակ և միևնույն T ջերմաստիճանում կզբաղեցնի ν անգամ մեծ ծավալ (տե՛ս (12.10) բանաձևը)՝

$$V = \nu \cdot V_M = \frac{m}{M} V_M , \quad (14.29)$$

որտեղ M-ը գազի մոլային զանգվածն է: (14.28) հավասարման երկու մասերն էլ բազմապատկելով ν-ով և նկատի ունենալով (14.29) առնչությունը՝ կստանանք՝

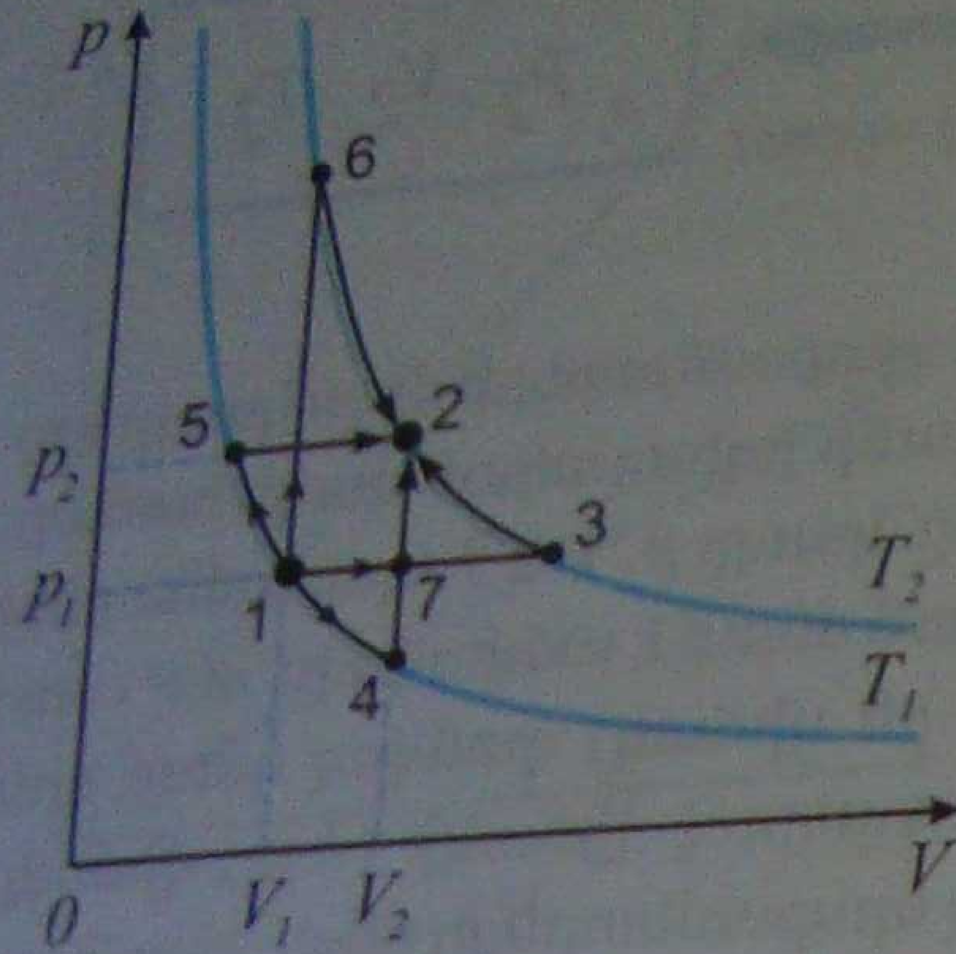
$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT , \quad (14.30)$$

որն էլ հենց m զանգվածով իդեալական գազի վիճակի հավասարումն է:

(14.30) հավասարումը գտել է ռուս նշանավոր գիտնական Դ.Ի.Մենդելեևը, ուստի այն կոչվում է ***Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարում***: (14.30) հավասարումն անվանում են նաև ***գազային վիճակի միացյալ հավասարում***, քանի որ դրանից բխում են իդեալական գազի համար մեզ հայտնի գազային օրենքները:

Իրոք, երբ $T = const$ ($m = const$),

$$pV = \frac{m}{M} RT = const ,$$



Նկ. 159

կերված է 1→3→2 հաջորդական անցումը p, V հարթության վրա: Հասկանալի է, որ 1→2 անցումը կարելի է իրականացնել բազմաթիվ այլ ձևերով (օրինակ՝ 1→4→2, 1→5→2, 1→6→2, 1→7→2 և այլն):

Այն փաստը, որ $m = const$ դեպքում գազի բնութագրերի միջև տեղի ունի (14.25) կապը, թույլ է տալիս ենթադրել որոշակի կապի առկայություն pV/T և m մեծությունների միջև: Փորձենք ստանալ նաև այդ կապը:

Վերցնենք գազի 1 մոլ և V_M-ով նշանակենք դրա ծավալը: Ինչպես հայտնի է քիմիայի դասընթացից, նորմալ պայմաններում (0°C ջերմաստիճան և նորմալ մթնոլորտային ճնշում՝ $p_0 = 101325$ Պա) ցանկացած գազի 1 մոլը զբաղեցնում է 0,0224 մ³ ծավալ ($V_{0M} = 0,0224$ մ³/մոլ), ուստի, ըստ Կլապեյրոնի (14.25) հավասարման՝

$$\frac{pV_M}{T} = \frac{p_0 V_{0M}}{T_0} \approx \frac{101325 \cdot 0,0224}{273} \cdot \frac{\text{Ն}}{\text{մ}^2} \cdot \frac{\text{մ}^3}{\text{մոլ}} \cdot \frac{1}{\text{Կ}} = 8,31 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot \text{Կ}} : \qquad (14.26)$$

Այսպիսով՝ գազի մեկ մոլի ծավալի և ճնշման արտադրյալի հարաբերությունը բացարձակ ջերմաստիճանին հաստատուն մեծություն է բոլոր գազերի համար: Այդ հաստատուն մեծությունը նշանակում են R տառով և կոչում ունիվերսալ գազային հաստատուն՝

$$R = 8,31 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot \text{Կ}} : \qquad (14.27)$$

(14.26) և (14.27) բանաձևերից 1 մոլ գազի համար կստանանք՝

$$pV_M = RT : \qquad (14.28)$$

Եթե այժմ ունենք գազի ոչ թե 1 մոլ, այլ ν մոլ, ապա այն միևնույն p ճնշման տակ և միևնույն T ջերմաստիճանում կզբաղեցնի ν անգամ մեծ ծավալ (տե՛ս (12.10) բանաձևը)՝

$$V = \nu \cdot V_M = \frac{m}{M} V_M , \qquad (14.29)$$

որտեղ M-ը գազի մոլային զանգվածն է: (14.28) հավասարման երկու մասերն էլ բազմապատկելով ν-ով և նկատի ունենալով (14.29) առնչությունը՝ կստանանք՝

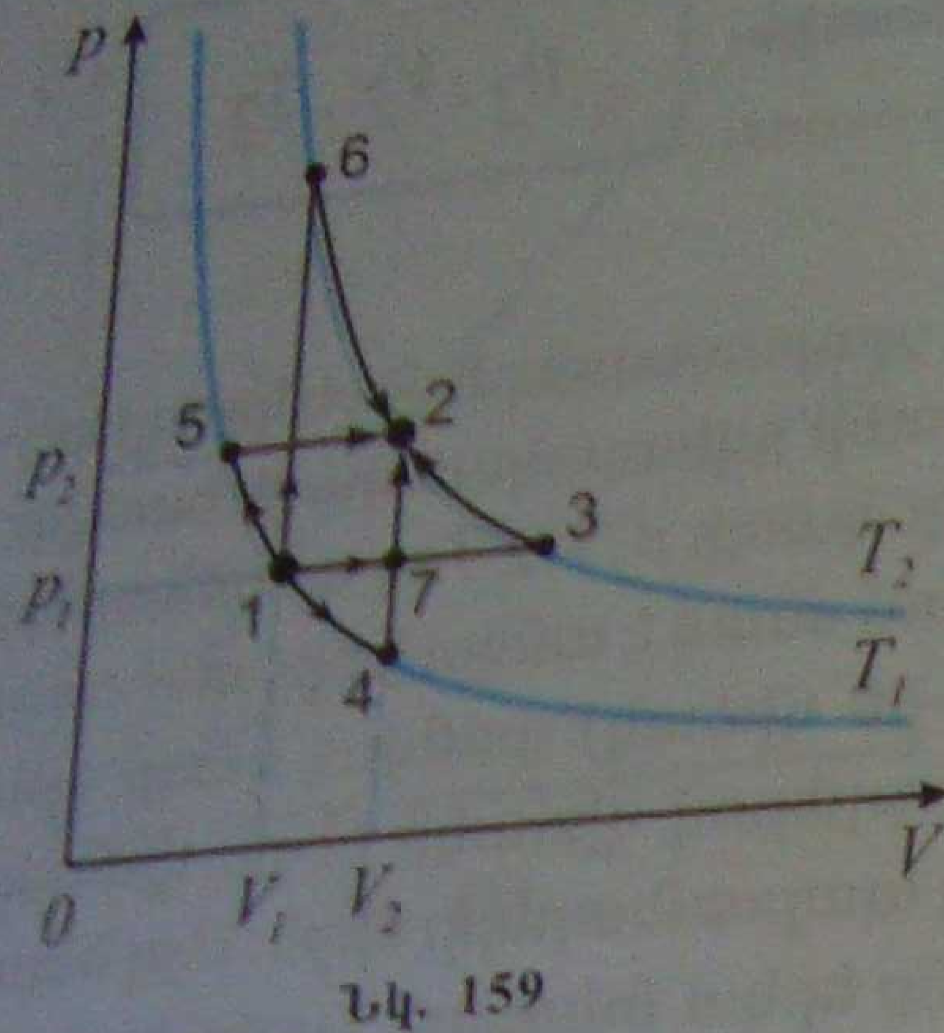
$$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT , \qquad (14.30)$$

որն էլ հենց m զանգվածով իդեալական գազի վիճակի հավասարումն է:

(14.30) հավասարումը գտել է ռուս նշանավոր գիտնական Դ.Ի.Մենդելեևը, ուստի այն կոչվում է ***Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարում***: (14.30) հավասարումն անվանում են նաև ***գազային վիճակի միայնակ հավասարում***, քանի որ դրանից բխում են իդեալական գազի համար մեզ հայտնի գազային օրենքները:

Իրոք, երբ $T = const$ ($m = const$),

$$pV = \frac{m}{M} RT = const ,$$



Նկ. 159

կերված է 1→3→2 հաջորդական անցումը p, V հարթության վրա: Հասկանալի է, որ 1→2 անցումը կարելի է իրականացնել բազմաթիվ այլ ձևերով (օրինակ՝ 1→4→2, 1→5→2, 1→6→2, 1→7→2 և այլն):

Այն փաստը, որ $m=const$ դեպքում գազի բնութագրերի միջև տեղի ունի (14.25) կապը, թույլ է տալիս ենթադրել որոշակի կապի առկայություն pV/T և m մեծությունների միջև: Փորձենք ստանալ նաև այդ կապը:

Վերցնենք գազի 1 մոլ և V_M-ով նշանակենք դրա ծավալը: Ինչպես հայտնի է քիմիայի դասընթացից, նորմալ պայմաններում (0°C ջերմաստիճան և նորմալ մթնոլորտային ճնշում՝ $p_0 = 101325$ Պա) ցանկացած գազի 1 մոլը զբաղեցնում է $0{,}0224\,մ^3$ ծավալ ($V_{0M} = 0{,}0224\,մ^3/մոլ$), ուստի, ըստ Կլապեյրոնի (14.25) հավասարման՝

$$\frac{pV_M}{T} = \frac{p_0V_{0M}}{T_0} \approx \frac{101325 \cdot 0{,}0224}{273} \cdot \frac{Ն}{մ^2} \cdot \frac{մ^3}{մոլ} \cdot \frac{1}{Կ} = 8{,}31\frac{Ջ}{մոլ \cdot Կ}: \quad (14.26)$$

Այսպիսով՝ գազի մեկ մոլի ծավալի և ճնշման արտադրյալի հարաբերությունը բացարձակ ջերմաստիճանին հաստատուն մեծություն է բոլոր գազերի համար: Այդ հաստատուն մեծությունը նշանակում են R տառով և կոչում ունիվերսալ գազային հաստատուն՝

$$R = 8{,}31\frac{Ջ}{մոլ \cdot Կ}: \quad (14.27)$$

(14.26) և (14.27) բանաձևերից 1 մոլ գազի համար կստանանք՝

$$pV_M = RT: \quad (14.28)$$

Եթե այժմ ունենք գազի ոչ թե 1 մոլ, այլ ν մոլ, ապա այն միևնույն p ճնշման տակ և միևնույն T ջերմաստիճանում կզբաղեցնի ν անգամ մեծ ծավալ (տե՛ս (12.10) բանաձևը)՝

$$V = \nu \cdot V_M = \frac{m}{M}V_M, \quad (14.29)$$

որտեղ M-ը գազի մոլային զանգվածն է: (14.28) հավասարման երկու մասերն էլ բազմապատկելով ν-ով և նկատի ունենալով (14.29) առնչությունը՝ կստանանք՝

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT, \quad (14.30)$$

որն էլ հենց m զանգվածով իդեալական գազի վիճակի հավասարումն է:

(14.30) հավասարումը գտել է ռուս նշանավոր գիտնական Դ.Ի.Մենդելեևը, ուստի այն կոչվում է ***Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարում***: (14.30) հավասարումն անվանում են նաև ***գազային վիճակի միասնական հավասարում***, քանի որ դրանից բխում են իդեալական գազի համար մեզ հայտնի գազային օրենքները:

Իրոք, երբ $T = const$ ($m = const$),

$$pV = \frac{m}{M}RT = const,$$

որը Բոյլ-Մարիոտի օրենքն է:

Երբ $p = const$ $(m = const)$,

$$V = \frac{m}{M}\frac{R}{p}T = const \cdot T ,$$

այսինքն՝ $V \sim T$, որը Գեյ-Լյուսակի օրենքն է:

Վերջապես, երբ $V = const$ $(m = const)$,

$$p = \frac{m}{M}\frac{R}{V}T = const \cdot T ,$$

այսինքն՝ $p \sim T$, որը Շառլի օրենքն է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

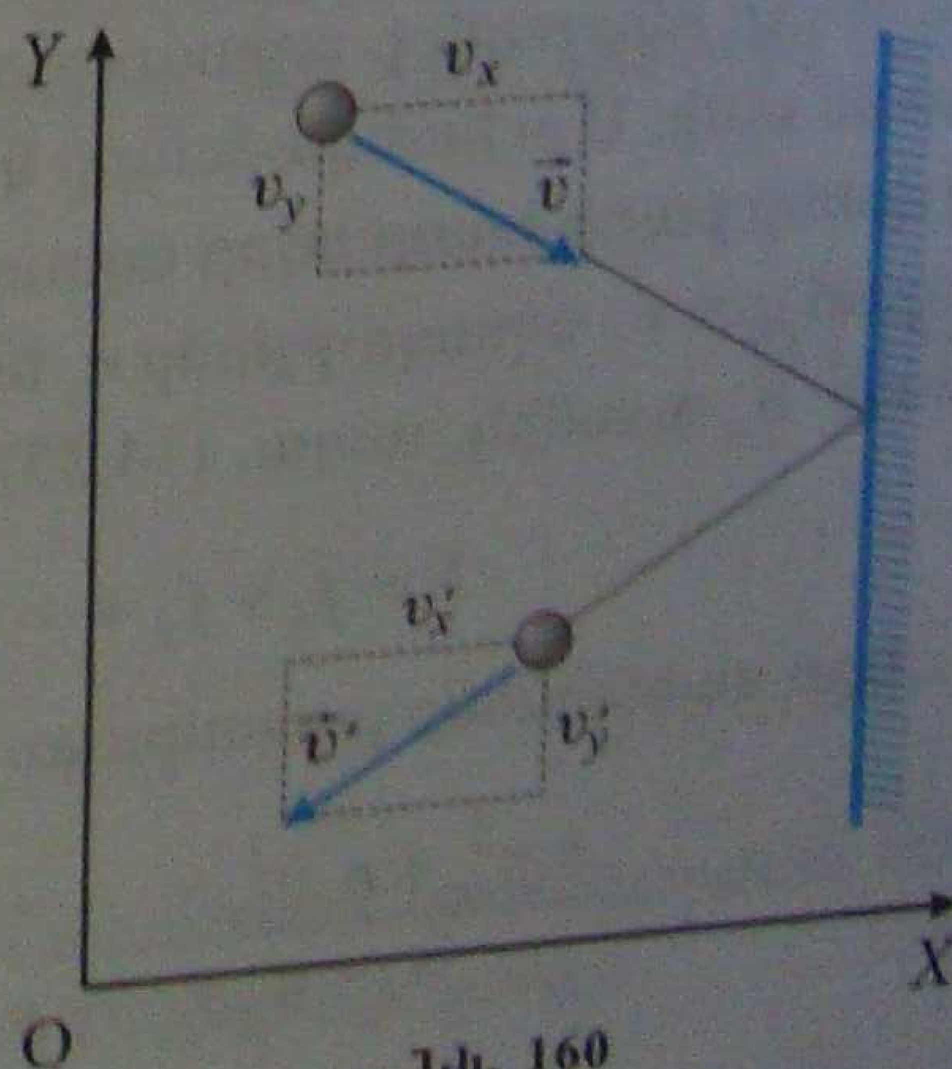
1. *Գրե՛ք իդեալական գազի վիճակի հավասարումը:*
2. *Գրե՛ք Կլապեյրոնի հավասարումը:*
3. *Ինչի՞ է հավասար ունիվերսալ գազային հաստատունը:*
4. *Իդեալական գազի ճնշումն ինչպե՞ս է կախված գազի զանգվածից:*
5. *Իդեալական գազի վիճակի հավասարումից ստացե՛ք Բոյլ-Մարիոտի, Գեյ-Լյուսակի և Շառլի օրենքների բանաձևերը:*

§ 70. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը

Իդեալական գազի վիճակի (14.30) հավասարումը մենք ստացանք՝ հիմնվելով փորձնական ճանապարհով ստացված գազային օրենքների վրա: Այժմ փորձենք այդ հավասարումն արտածել տեսականորեն՝ հիմնվելով մոլեկուլային-կինետիկ տեսության արդյունքների վրա:

Օգտվենք իդեալական գազի պարզագույն մոդելից, որի համաձայն գազի մասնիկները չափազանց փոքր զանգվածով, կոշտ գնդիկներ են, իսկ փոխազդեցությունը գազի մասնիկների միջև դրսևորվում է միայն բախումների ձևով:

Հաշվենք իդեալական գազի ճնշումը: Այն արդյունք է գազի մոլեկուլների կողմից գազը պարունակող անոթի պատերին «տեղայող» հարվածների: Կենթադրենք, որ գազի մոլեկուլների հարվածներն առաձգական են, այսինքն՝ պատի հետ բախման արդյունքում փոխվում է մոլեկուլների արագության միայն ուղղությունը, բայց ոչ մոդուլը:

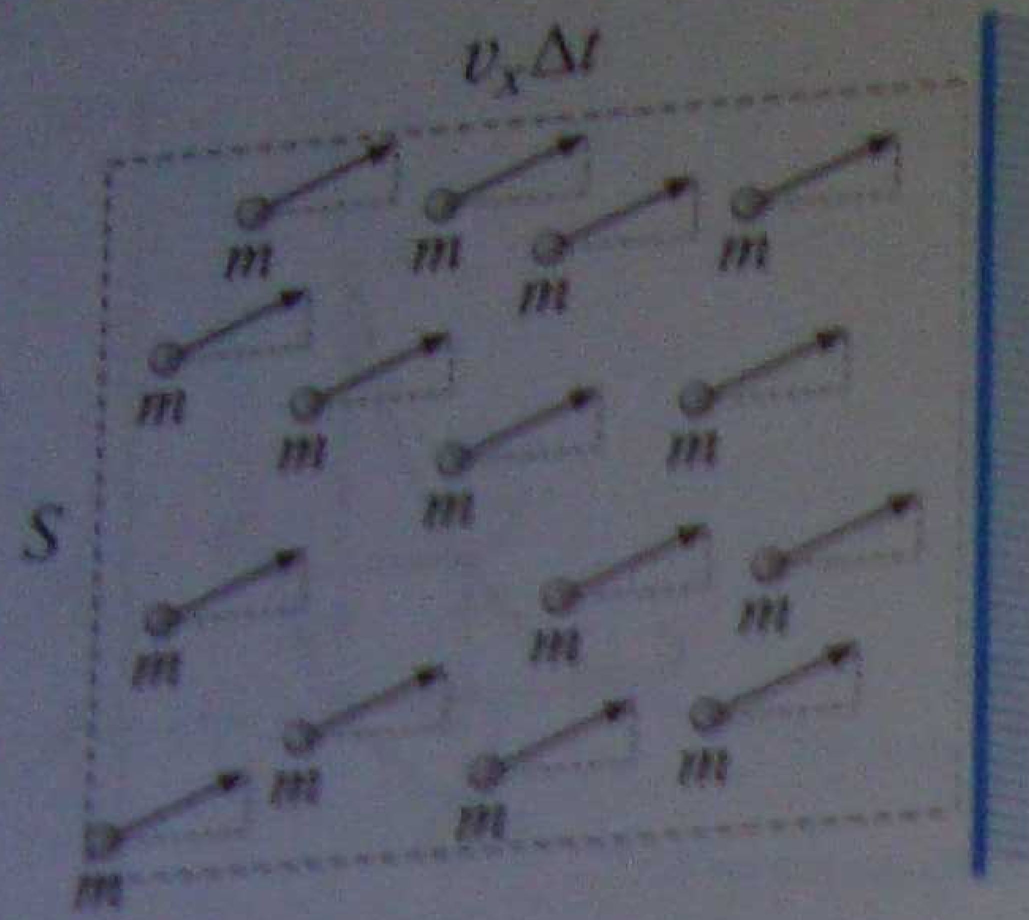


Նկ. 160

Դիցուք՝ մոլեկուլը $\vec{v}$ արագությամբ շարժվում է դեպի անոթի հարթ պատը (նկ. 160): Պատին զուգահեռ ուղղությամբ (Y-ների առանցք) ուժեր չեն ազդում, ուստի մոլեկուլի արագության y պրոյեկցիան մնում է անփոփոխ, այսինքն՝ $v_y = v'_y$:

Մոլեկուլի իմպուլսի x պրոյեկցիայի փոփոխությունը պայմանավորված է պատի կողմից մոլեկուլի վրա ազդող ուժով և հավասար է՝

$$mv'_x - mv_x = -mv_x - mv_x = -2mv_x : \quad (14.31)$$



Նկ. 161

Նյուտոնի երրորդ օրենքի համաձայն՝ մոլեկուլի կողմից պատին հաղորդած իմպուլսը հավասար կլինի (14.31) արտահայտությանը՝ մինուս նշանով, այսինքն՝ $2mv_x$:

Այժմ որոշենք Δt ժամանակամիջոցում բոլոր մոլեկուլների կողմից պատին հաղորդած իմպուլսը: Δt ժամանակամիջոցում անոթի պատին կարող են հարվածել այն մոլեկուլները, որոնք գտնվում են պատից $v_x\Delta t$ և ավելի փոքր հեռավորությունների վրա (նկ. 161), այսինքն՝ S հիմքով և $v_x\Delta t$ բարձրությամբ ուղիղ գլանում գտնվող մոլեկուլները: Դրանց թիվը հավասար է

$$nSv_x\Delta t\ , \qquad (14.32)$$

որտեղ n-ը գազի կոնցենտրացիան է՝ մոլեկուլների թիվը միավոր ծավալում: Քաոսային շարժման հետևանքով անոթում գտնվող մոլեկուլների միջին հաշվով միայն կեսն է շարժվում դեպի S պատը, այսինքն՝ այն մոլեկուլները, որոնց արագություններն ունեն $v_x > 0$ դրական պրոյեկցիաներ:

Այսպիսով, Δt ժամանակամիջոցում անոթի S պատին հարվածների թիվը կլինի հավասար

$$\frac{n}{2}Sv_x\Delta t\ , \qquad (14.33)$$

որոնց արդյունքում պատին կհաղորդվի

$$\Delta p = \frac{n}{2}Sv_x\Delta t 2mv_x = nS\Delta t mv_x^2 \qquad (14.34)$$

իմպուլս: Մյուս կողմից, միավոր ժամանակում մոլեկուլների կողմից պատին հաղորդած իմպուլսը թվապես հավասար է պատի վրա ազդող ուժին, հետևաբար՝

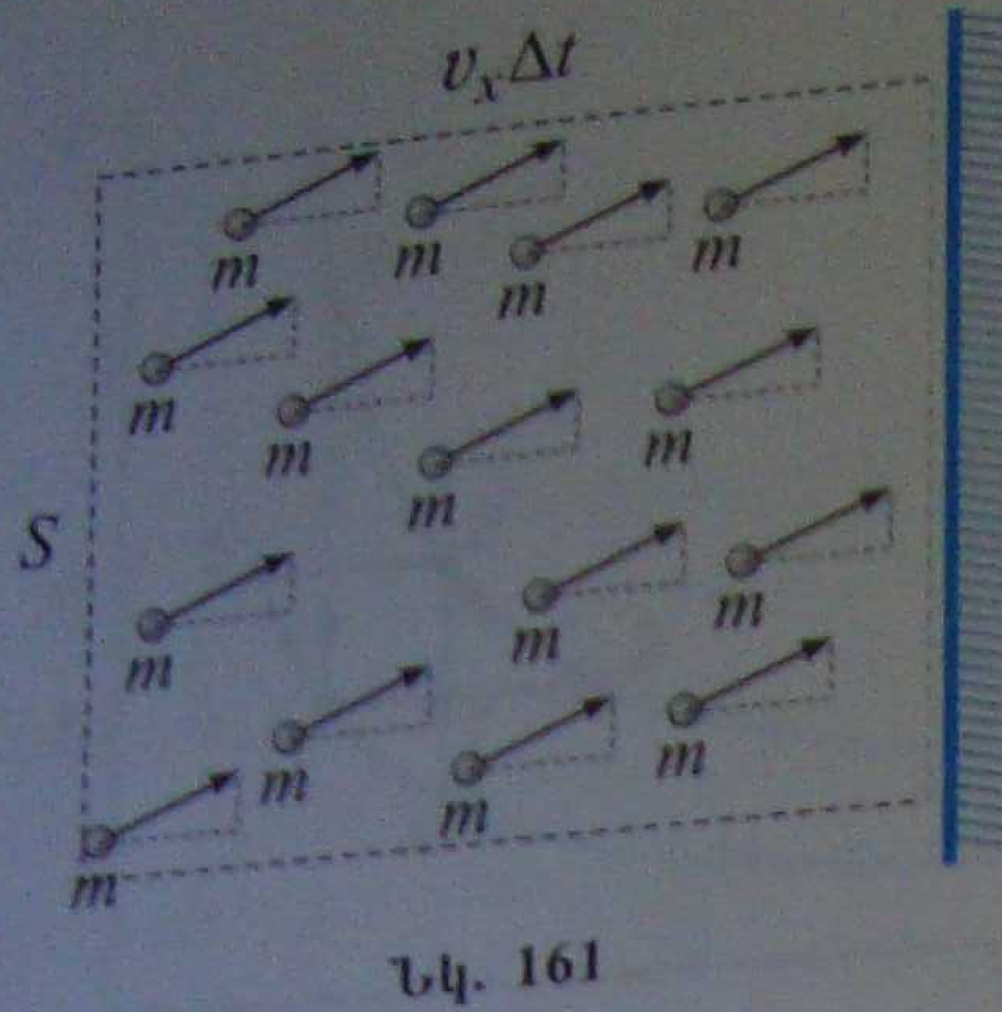
$$f = \frac{\Delta p}{\Delta t} = nSmv_x^2 : \qquad (14.35)$$

Մինչև այժմ մենք ենթադրել էինք, որ պատին հարվածող բոլոր մոլեկուլներն ունեն միևնույն արագություն: Իրականում քաոսային շարժում կատարող մոլեկուլներն ունեն բոլոր հնարավոր արագությունները, և դրանցից յուրաքանչյուրն ուժի մեջ իր ներդրումն ունի: Այս հանգամանքը կարող ենք հաշվի առնել, եթե (14.35) հավասարությունը գրենք բոլոր հնարավոր արագություններով մասնիկների համար: Եթե միավոր ծավալում կա $\vec{v}_1$ արագությամբ n_1 մասնիկ, $\vec{v}_2$ արագությամբ՝ n_2 մասնիկ, ..., $\vec{v}_N$ արագությամբ՝ n_N մասնիկ, ապա, (14.35) բանաձևի համաձայն, պատի վրա ազդող ուժը՝

$$F = f_1 + f_2 + \cdots + f_N = mS(n_1v_{1x}^2 + n_2v_{2x}^2 + \cdots + n_Nv_{Nx}^2) : \qquad (14.36)$$

Եթե սահմանենք քառակուսային միջին արագության հասկացությունը՝

$$\overline{v_x^2} = \frac{n_1v_{1x}^2 + n_2v_{2x}^2 + \cdots + n_Nv_{Nx}^2}{n_1 + n_2 + \cdots + n_N} = \frac{1}{n}(n_1v_{1x}^2 + n_2v_{2x}^2 + \cdots + n_Nv_{Nx}^2)\ , \qquad (14.37)$$



Նկ. 161

Նյուտոնի երրորդ օրենքի համաձայն՝ մոլեկուլի կողմից պատին հաղորդած իմպուլսը հավասար կլինի (14.31) արտահայտությանը՝ մինուս նշանով, այսինքն՝ $2mv_x$:

Այժմ որոշենք Δt ժամանակամիջոցում բոլոր մոլեկուլների կողմից պատին հաղորդած իմպուլսը: Δt ժամանակամիջոցում անոթի պատին կարող են հարվածել այն մոլեկուլները, որոնք գտնվում են պատից $v_x\Delta t$ և ավելի փոքր հեռավորությունների վրա (նկ. 161), այսինքն՝ S հիմքով և $v_x\Delta t$ բարձրությամբ ուղիղ գլանում գտնվող մոլեկուլները: Դրանց թիվը հավասար է

$$nSv_x\Delta t\ , \tag{14.32}$$

որտեղ n-ը գազի կոնցենտրացիան է՝ մոլեկուլների թիվը միավոր ծավալում: Քաոսային շարժման հետևանքով անոթում գտնվող մոլեկուլների միջին հաշվով միայն կեսն է շարժվում դեպի S պատը, այսինքն՝ այն մոլեկուլները, որոնց արագություններն ունեն $v_x > 0$ դրական պրոյեկցիաներ:

Այսպիսով, Δt ժամանակամիջոցում անոթի S պատին հարվածների թիվը կլինի հավասար

$$\frac{n}{2}Sv_x\Delta t\ , \tag{14.33}$$

որոնց արդյունքում պատին կհաղորդվի

$$\Delta p = \frac{n}{2}Sv_x\Delta t2mv_x = nS\Delta tmv_x^2 \tag{14.34}$$

իմպուլս: Մյուս կողմից, միավոր ժամանակում մոլեկուլների կողմից պատին հաղորդած իմպուլսը թվապես հավասար է պատի վրա ազդող ուժին, հետևաբար՝

$$f = \frac{\Delta p}{\Delta t} = nSmv_x^2\ : \tag{14.35}$$

Մինչև այժմ մենք ենթադրել էինք, որ պատին հարվածող բոլոր մոլեկուլներն ունեն միևնույն արագությունը: Իրականում քաոսային շարժում կատարող մոլեկուլներն ունեն բոլոր հնարավոր արագությունները, և դրանցից յուրաքանչյուրն ուժի մեջ իր ներդրումն ունի: Այս հանգամանքը կարող ենք հաշվի առնել, եթե (14.35) հավասարությունը գրենք բոլոր հնարավոր արագություններով մասնիկների համար: Եթե միավոր ծավալում կա $\vec{v}_1$ արագությամբ n_1 մասնիկ, $\vec{v}_2$ արագությամբ՝ n_2 մասնիկ, ..., $\vec{v}_N$ արագությամբ՝ n_N մասնիկ, ապա, (14.35) բանաձևի համաձայն, պատի վրա ազդող ուժը՝

$$F = f_1 + f_2 + \cdots + f_N = mS(n_1v_{1x}^2 + n_2v_{2x}^2 + \cdots + n_Nv_{Nx}^2)\ : \tag{14.36}$$

Եթե սահմանենք քառակուսային միջին արագության հասկացությունը՝

$$\overline{v_x^2} = \frac{n_1v_{1x}^2 + n_2v_{2x}^2 + \cdots + n_Nv_{Nx}^2}{n_1 + n_2 + \cdots + n_N} = \frac{1}{n}(n_1v_{1x}^2 + n_2v_{2x}^2 + \cdots + n_Nv_{Nx}^2)\ , \tag{14.37}$$

որտեղ n-ը մասնիկների լրիվ կոնցենտրացիան է, ապա (14.36) բանաձևը կարող ենք ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$F = mSn\overline{v_x^2} ; \tag{14.38}$$

Նկատի ունենալով ճնշման սահմանումը՝ կստանանք՝

$$p = \frac{F}{S} = nm\overline{v_x^2} ; \tag{14.39}$$

Մոլեկուլների քաոսային շարժման բնույթից բխում է, որ տարածական x, y, z ուղղությունները հավասարազոր են, ուստի՝

$$\overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \overline{v_x^2} ; \tag{14.40}$$

Արագության մոդուլն արտահայտելով իր պրոյեկցիաներով՝

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 , \tag{14.41}$$

քառակուսային միջին արագության համար կստանանք՝

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2}(= 3\overline{v_y^2} = 3\overline{v_z^2}) , \tag{14.42}$$

որտեղից՝

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2} ; \tag{14.43}$$

(14.39) և (14.43) բանաձևերից գազի ճնշման համար կստանանք ***մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը***՝

$$\boxed{p = \frac{1}{3}nm\overline{v^2}} : \tag{14.44}$$

Ստացված բանաձևն իրար է կապում մակրոսկոպական պարամետրը՝ p ճնշումը, որը կարելի է փորձում անմիջականորեն չափել, և միկրոսկոպական մեծությունները՝ մոլեկուլի m զանգվածը և արագության քառակուսու միջինը՝ $\overline{v^2}$-ը: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը կարելի է ներկայացնել նաև այլ տեսքով, եթե ներմուծենք մեկ մոլեկուլին բաժին ընկնող համընթաց շարժման կինետիկ էներգիայի (միջին կինետիկ էներգիա) գաղափարը՝

$$\overline{\varepsilon} = \frac{m\overline{v^2}}{2} : \tag{14.45}$$

Այս դեպքում՝

$$\boxed{p = \frac{2}{3}n\overline{\varepsilon}} : \tag{14.46}$$

(14.46) հավասարումը հնարավորություն է տալիս ստանալ կարևորագույն արդյունք՝ ջերմաստիճանի և մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիայի կապը:



Բոլցման Լյուդվիգ (1844-1906)

Ավստրիացի մեծ ֆիզիկոս, վիճակագրական ֆիզիկայի հիմնադիրներից: Հիմնական աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային, ջերմադինամիկային և ճառագայթման տեսությանը: Ապացուցել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի վիճակագրական բնույթը:

Իրոք, գազային վիճակի միայյալ օրենքի համաձայն՝

$$pV = \frac{m}{M}RT : \qquad (14.47)$$

(14.46) հավասարումը բազմապատկելով V-ով և նկատի ունենալով, որ $nV = N$, որտեղ N-ը մոլեկուլների թիվն է, և հավասարեցնելով (14.46) և (14.47) հավասարումների աջ մասերը՝ կստանանք՝

$$\frac{2}{3}N\overline{\varepsilon} = \frac{m}{M}RT , \qquad (14.48)$$

որտեղից միջին կինետիկ էներգիայի համար կստանանք՝

$$\overline{\varepsilon} = \frac{3}{2}\frac{mRT}{MN} , \qquad (14.49)$$

այսինքն՝ ***գազի մոլեկուլների քառսային շարժման միջին կինետիկ էներգիան համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին***:

Չնայած այս արդյունքը ստանալիս մենք օգտվեցինք իդեալական գազի համար ստացված հավասարումից, որին ենթարկվում են իրական գազերը փոքր խտություննե-րի և բարձր ջերմաստիճանների դեպքում, սակայն այն, ինչպես պարզվում է, իրավացի է նաև հեղուկ և պինդ վիճակում գտնվող նյութերի մոլեկուլների համար: Մասնավորա-պես, (14.49) բանաձևից ակնհայտ է, որ բացարձակ ջերմաստիճանը միշտ դրական մեծություն է, քանի որ այն համեմատական է միայն դրական արժեքներ ընդունող $\overline{\varepsilon}$ մեծությանը:

Պարզեցնենք (14.49) արտահայտությունը: Քանի որ $N = \nu N_A = (m/M)\, N_A$, ապա՝

$$\overline{\varepsilon} = \frac{3}{2}\frac{m}{M}\frac{RT}{\frac{m}{M}N_A} = \frac{3}{2}\frac{R}{N_A}T : \qquad (14.50)$$

Ընդունված է R ունիվերսալ գազային հաստատունի և Ավոգադրոյի հաստատունի հարաբերությունն անվանել ***Բոլցմանի հաստատուն***

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1{,}38\cdot 10^{-23}\,\frac{Ջ}{Կ} : \qquad (14.51)$$

Բոլցմանի հաստատունի ներմուծումից հետո (14.50) հավասարումը կընդունի հետևյալ պարզ տեսքը՝

$$\overline{\varepsilon} = \frac{3}{2}k_B T : \qquad (14.52)$$

(14.52) բանաձևը թույլ է տալիս պարզեցնել նաև մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական (14.46) հավասարումը՝

$$\boxed{p = nk_BT} \; : \qquad (14.53)$$

Հավասարման այս տեսքը հեշտությամբ ստացվում է նաև գազային վիճակի միացյալ օրենքից, եթե դրանում գազային հաստատունի փոխարեն ներմուծենք Բոլցմանի հաստատունը: Իրոք՝

$$p = \frac{m}{M}\frac{RT}{V} = \frac{m}{M}\frac{k_BN_A}{V}T = \frac{m}{M}N_A \cdot \frac{k_BT}{V} = \frac{N}{V}k_BT = nk_BT \; :$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Բոլցմանի հաստատունն արտահայտե՛ք մյուս ունիվերսալ հաստատունների միջոցով: Գրե՛ք դրա արժեքը:*
2. *Ի՞նչ կապ կա իդեալական գազի ճնշման և մասնիկների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի միջև:*
3. *Հնարավո՞ր է արդյոք բարձրացնել տվյալ զանգվածով իդեալական գազի ջերմաստիճանը՝ գազի ծավալն ու ճնշումը թողնելով անփոփոխ:*
4. *Տվե՛ք Բոյլ-Մարիոտի օրենքի բացատրությունը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
5. *Տվե՛ք Գեյ-Լյուսակի օրենքի բացատրությունը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
6. *Տվե՛ք Շառլի օրենքի բացատրությունը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
7. *Կախվա՞ծ է արդյոք իդեալական գազի ճնշումը գազի տեսակից:*
8. *Ինչո՞ւ հաստատուն ճնշման դեպքում տաք օդը թեթև է սառն օդից:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Լճի հատակից մակերևույթին հասնելիս օդի պղպջակի ծավալը մեծացավ n = 3 անգամ: Որոշել լճի խորությունը, եթե պրոցեսն իզոթերմ է, իսկ մթնոլորտային ճնշումը՝ 10^5 Պա:***

Լուծում: Պղպջակի վերելքի ընթացքում նրանում օդի զանգվածը և ջերմաստիճանը չեն փոփոխվում, ուստի ճնշումն ու ծավալը իրար հետ կապված են Բոյլ-Մարիոտի օրենքով՝ $p_1/p_2 = V_2/V_1$: Սկզբնական (1) վիճակում պղպջակում օդի ճնշումը հավասար է h խորության վրա առկա ճնշմանը՝ $p_1 = p_0 + \rho g h$, որտեղ ρ-ն ջրի խտությունն է, p_0-ն՝ մթնոլորտային ճնշումը:

Մակերևույթին (2-րդ վիճակ) պղպջակում օդի ճնշումը հավասարվում է մթնոլորտային ճնշմանը՝ $p_2 = p_0$, ուստի վերը բերված հավասարումներից կստանանք՝

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_0 + \rho g h}{p_0} = n, \quad \text{որտեղից՝} \quad h = \frac{(n-1)p_0}{\rho g} \approx 20{,}4 \text{ մ} :$$

(14.52) բանաձևը թույլ է տալիս պարզեցնել նաև մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական (14.46) հավասարումը՝

$$p = nk_BT \; : \qquad (14.53)$$

Հավասարման այս տեսքը հեշտությամբ ստացվում է նաև գազային վիճակի միացյալ օրենքից, եթե դրանում գազային հաստատունի փոխարեն ներմուծենք Բոլցմանի հաստատունը: Իրոք՝

$$p = \frac{m}{M}\frac{RT}{V} = \frac{m}{M}\frac{k_B N_A}{V}T = \frac{m}{M}N_A \cdot \frac{k_B T}{V} = \frac{N}{V}k_B T = nk_B T \; :$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Բոլցմանի հաստատունն արտահայտե՛ք մյուս ունիվերսալ հաստատունների միջոցով: Գրե՛ք դրա արժեքը:*
2. *Ի՞նչ կապ կա իդեալական գազի ճնշման և մասնիկների քաոսային շարժման միջին կինետիկ էներգիայի միջև:*
3. *Հնարավո՞ր է արդյոք բարձրացնել տվյալ զանգվածով իդեալական գազի ջերմաստիճանը՝ գազի ծավալն ու ճնշումը թողնելով անփոփոխ:*
4. *Տվե՛ք Բոյլ-Մարիոտի օրենքի բացատրությունը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
5. *Տվե՛ք Գեյ-Լյուսակի օրենքի բացատրությունը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
6. *Տվե՛ք Շառլի օրենքի բացատրությունը մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
7. *Կախվա՞ծ է արդյոք իդեալական գազի ճնշումը գազի տեսակից:*
8. *Ինչո՞ւ հաստատուն ճնշման դեպքում տաք օդը թեթև է սառն օդից:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Լճի հատակից մակերևույթին հասնելիս օդի պղպջակի ծավալը մեծացավ $n = 3$ անգամ: Որոշել լճի խորությունը, եթե պրոցեսն իզոթերմ է, իսկ մթնոլորտային ճնշումը՝ 10^5 Պա:***

Լուծում: Պղպջակի վերելքի ընթացքում նրանում օդի զանգվածը և ջերմաստիճանը չեն փոփոխվում, ուստի ճնշումն ու ծավալը իրար հետ կապված են Բոյլ-Մարիոտի օրենքով՝ $p_1/p_2 = V_2/V_1$: Սկզբնական (1) վիճակում պղպջակում օդի ճնշումը հավասար է h խորության վրա առկա ճնշմանը՝ $p_1 = p_0 + \rho g h$, որտեղ ρ-ն ջրի խտությունն է, p_0-ն՝ մթնոլորտային ճնշումը:

Մակերևույթին (2-րդ վիճակ) պղպջակում օդի ճնշումը հավասարվում է մթնոլորտային ճնշմանը՝ $p_2 = p_0$, ուստի վերը բերված հավասարումներից կստանանք՝

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_0 + \rho g h}{p_0} = n, \quad \text{որտեղից՝} \quad h = \frac{(n-1)p_0}{\rho g} = 20{,}4 \text{ մ} :$$

2. ***$1{,}2\cdot10^{-2}$ կգ զանգվածով իդեալական գազը $7°C$ ջերմաստիճանում գրավում է $4\cdot10^{-3}$ մ³ ծավալ: Մինչև ինչ-որ ջերմաստիճան իզոբար տաքացնելուց հետո նրա խտությունը դարձավ 0,6 կգ/մ³: Քանի՞ աստիճանով է տաքացվել գազը:***

Լուծում: Համաձայն Գեյ-Լյուսակի օրենքի՝ $V_1/V_2 = T_1/T_2$, որտեղից՝ $T_2 = T_1V_2/V_1$: 2-րդ վիճակում գազի V_2 ծավալն արտահայտենք գազի ρ_2 խտության միջոցով՝ $V_2 = m/\rho_2$, որը տեղադրելով T_2-ի բանաձևի մեջ՝ կգտնենք ΔT-ն՝

$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_1\frac{m}{\rho_2 V_1} - T_1 = T_1\left(\frac{m}{\rho_2 V_1} - 1\right) = 1120\ Կ:$$

3. ***Գազով լցված շիշը լավ փակված է $2{,}5\cdot10^{-4}$ մ² հատույթի մակերես ունեցող խցանով: Մինչև ո՞ր ջերմաստիճանը պետք է տաքացնել գազը, որպեսզի խցանը դուրս թռչի շշից, եթե խցանը պահող շփման ուժը 12 Ն է: Շշում օդի սկզբնական ճնշումն ու դրսի ճնշումը նույնն են և հավասար 10^5 Պա-ի, իսկ սկզբնական ջերմաստիճանը հավասար է $-3°C$:***

Լուծում: Տաքացնելիս կարելի է գազի ծավալը համարել հաստատուն և օգտվել Շառլի օրենքից՝ $p_2/p_1 = T_2/T_1$, որտեղից՝ $T_2 = T_1p_2/p_1$:

Խցանը դուրս կթռչի շշից, եթե անոթում գտնվող գազի ճնշման ուժը խցանի վրա առնվազն հավասարվի արտաքին ճնշման ուժի և շփման ուժի համազորին, այսինքն՝

$$p_2S = p_1S + F_2 \quad կամ \quad p_2 = p_1 + \frac{F_2}{S}:$$

Վերջին բանաձևը տեղադրելով T_2-ի արտահայտության մեջ՝ կստանանք շշում գազի վերջնական ջերմաստիճանի արժեքը՝

$$T_2 = T_1\left(1 + \frac{F_2}{p_1S}\right) \approx 400\ Կ:$$

4. ***Օդով լցված գլանաձև անոթի հատակին գտնվում է սնամեջ գնդիկ, որի ծավալը հավասար է 10^{-5} մ³, իսկ զանգվածը՝ $m = 5$ գ: Մինչև ի՞նչ նվազագույն ճնշում պետք է սեղմել անոթի օդը, որպեսզի գնդիկը սկսի վեր բարձրանալ: Օդի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $T = 293$ Կ է: Համարել, որ օդը մեծ ճնշման տակ ենթարկվում է իդեալական գազի վիճակի հավասարմանը: Օդի մոլային զանգվածը՝ $M = 0{,}029$ կգ/մոլ:***

Լուծում: Որպեսզի գնդիկը վեր բարձրանա, անհրաժեշտ է, որ գնդիկի վրա ազդող արքիմեդյան ուժը լինի հավասար գնդիկի վրա ազդող ծանրության ուժին՝

$$F_A = \rho gV = mg,$$

որտեղ ρ-ն միջավայրի (տվյալ դեպքում՝ օդի) խտությունն է: ρ-ն կորոշենք Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից՝

$$p = \frac{m_{օդ}RT}{V_{օդ}M} = \frac{\rho}{M}RT, \quad որտեղից՝ \quad \rho = \frac{pM}{RT}:$$

Այս արտահայտությունը տեղադրելով հավասարակշռության պայմանի մեջ՝ կստանանք՝

$$p = \frac{mRT}{MV} \approx 4,2 \cdot 10^7 \text{ Պա} ;$$

5. ***Ինչի՞ է հավասար գազի մոլեկուլների քառակուսային շարժման քառակուսային միջին արագությունը, եթե գազի զանգվածը 6 կգ է, ծավալը՝ 5 մ³, իսկ ճնշումը՝ 2·10⁵ Պա:***

Լուծում: Համաձայն մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարման՝

$$p = \frac{1}{3} n m_1 \overline{v^2} = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}, \text{ քանի որ } \rho = n m_1,$$

որտեղ m_1-ը մեկ մոլեկուլի զանգվածն է, n-ը՝ գազի կոնցենտրացիան: Գազի խտությունը՝ $\rho = m / V$, ուստի կստանանք՝

$$p = \frac{1}{3} \frac{m}{V} \overline{v^2}, \text{ որտեղից՝ } v_{ք.մ.} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} \approx 700 \text{ մ/վ} ;$$

Խնդիրներ

1. *6 մ³ ծավալով անոթը, որում գտնվում է օդ՝ 10⁵ Պա ճնշման տակ, բարակ խողովակով միացնում են 2 մ³ ծավալով դատարկ անոթին: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի անոթներում, եթե պրոցեսն իզոթերմ է:*

2. *2 մ³ ծավալով անոթից օդը դուրս է մղվում պոմպով, որի գլանի ծավալը 0,2 մ³ է: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի անոթում երկու դուրսմղումներից հետո, եթե սկզբնական ճնշումը 4,84·10⁴ Պա է: Ջերմաստիճանը հաստատուն է:*

3. *Ներքևից փակ, ուղղաձիգ խողովակում գտնվում է օդ, որը փակված է 0,08 մ բարձրությամբ սնդիկի սյունով: Խողովակի հատույթի մակերեսը 10⁻⁵ մ² է, օդի ծավալը՝ 6,6·10⁻⁶ մ³: Ինչքա՞ն կլինի օդի սյան բարձրությունը, եթե խողովակի մեջ ավելացվի ևս 10,88·10⁻³ կգ սնդիկ: Մթնոլորտային ճնշումը 720 մմ սնդ. ս. է: Ջերմաստիճանը հաստատուն է:*

4. *Երկու ծայրերը փակ, 1 մ երկարությամբ խողովակը լցված է օդով և տեղադրված է հորիզոնական դիրքով: Խողովակի միջտեղում գտնվում է 0,2 մ երկարությամբ սնդիկի սյուն: Երբ խողովակը տեղադրվում է ուղղաձիգ դիրքով, սնդիկի սյունը նրանում իջնում է 0,1 մ-ով: Գտնել օդի սկզբնական ճնշումը խողովակում: Ջերմաստիճանը հաստատուն է:*

5. *Ինչքա՞ն է 30°C-ում գտնվող օդապարիկի ծավալի հարաբերությունը նրա ծավալին 27°C-ում, եթե ճնշումը մնում է հաստատուն: Ռետինե թաղանթի ազդեցությունն անտեսել:*

6. *Ի՞նչ ջերմաստիճանում էր գտնվում (Ցելսիուսի սանդղակով) տվյալ զանգվածով իդեալական գազը, եթե հաստատուն ճնշման տակ 22°C-ով տաքացնելիս նրա ծավալը մեծացավ 2 անգամ:*

7. *Ի՞նչ ծավալ էր զբաղեցնում որոշակի զանգվածով իդեալական գազը 47°C ջերմաստիճանում, եթե իզոբար կերպով մինչև 143°C տաքացնելու հետևանքով նրա ծավալը մեծացավ 0,45 մ³-ով:*

8. *Քանի՞ անգամ կմեծանա գազի ճնշումն էլեկտրալամպի բալոնում, եթե այն շղթային միացնելիս գազի ջերմաստիճանը 15°C-ից աճում է մինչև 303°C:*

9. Որոշել փակ անոթում գտնվող տվյալ զանգվածով իդեալական գազի սկզբնական ջերմաստիճանը (Ցելսիուսի սանդղակով), եթե գազը 1°C-ով տաքացնելիս նրա ճնշումն աճում է սկզբնական ճնշման 0,4%-ով:

10. Որոշակի զանգվածով իդեալական գազի ճնշումը 27°C-ում $2\cdot10^5$ Պա է: Քանի՞ աստիճանով պետք է իզոխոր կերպով տաքացվի այդ գազը, որպեսզի նրա ճնշումը դառնա $2,4\cdot10^5$ Պա:

11. Բալոնում գտնվում է որոշակի զանգվածով գազ՝ մթնոլորտային ճնշման տակ: Փականը բացված վիճակում բալոնը տաքացվել է, որից հետո փականը փակվել է, և գազը հովացվել է մինչև 14°C: Ցելսիուսի սանդղակով մինչև ո՞ր ջերմաստիճանն է տաքացվել բալոնը, եթե ճնշումը նրանում ընկել է մինչև մթնոլորտային ճնշման 0,7 մասը:

12. Նորմալ պայմաններում (ճնշումը 10^5 Պա, ջերմաստիճանը՝ 0°C) որոշակի զանգվածով իդեալական գազը զբաղեցնում է ինչ-որ ծավալ: Ինչի՞ է հավասար այդ նույն գազի ջերմաստիճանը (Ցելսիուսի սանդղակով) մեկ այլ վիճակում, որում նրա ծավալը սկզբնականից 3 անգամ փոքր է, իսկ ճնշումը՝ 4 անգամ մեծ:

13. 7°C-ում և $4,15\cdot10^5$ Պա ճնշման տակ իդեալական գազի խտությունը 5 կգ/մ^3 է: Որոշել այդ գազի մոլային զանգվածը:

14. 0,03մ^3 ծավալով անոթում 27°C ջերմաստիճանում գտնվող գազի ճնշումը նրա արտահոսքի պատճառով ընկավ $4,15\cdot10^3$ Պա-ով: Գազի քանի՞ մոլեկուլ է դուրս եկել անոթից, եթե ջերմաստիճանը մնացել է հաստատուն:

15. Բալոնում կար 27°C ջերմաստիճանի և $1,2\cdot10^7$ Պա ճնշման տակ գտնվող գազ: Գազի օգտագործման և մինչև −3°C հովացման հետևանքով նրա ճնշումն ընկավ մինչև 10^5 Պա: Գազի սկզբնական զանգվածի ո՞ր մասը մնաց բալոնում:

16. Քանի՞ անգամ կաճի միատոմ իդեալական գազի ճնշումը, եթե նրա ծավալը փոքրանա 3 անգամ, իսկ մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան մեծանա 2 անգամ:

17. Գտնել թթվածնի և ջրածնի ճնշումների հարաբերությունը, եթե նրանց մոլեկուլների կոնցենտրացիաներն ու քաոսային շարժման քառակուսային միջին արագությունները նույնն են:

18. Անոթի մեջ եթերը ներարկում են այնքան, մինչև որ նրա գոլորշու մոլեկուլների կոնցենտրացիան աճում է 10^{23} մ$^{-3}$-ով: Այդ ընթացքում անոթում ճնշումն աճում է 405 Պա-ով: Եթերի ջերմաստիճանը 27°C է: Օգտվելով այս տվյալներից՝ որոշել Բոլցմանի հաստատունը:

19. 1 կգ զանգվածով գազի մոլեկուլների քաոսային շարժման քառակուսային միջին արագությունը 400 մ/վ է, իսկ ճնշումը՝ 10^5 Պա: Որոշել գազի ծավալը:

ԳԼՈՒԽ 14-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Հիմնական գազային օրենքները կապ են հաստատում տրված քանակով գազի վիճակը բնութագրող պարամետրերի միջև, երբ նրանցից մեկը պահվում է հաստատուն.

իզոթերմ պրոցես ($T = const$)՝ $pV = const$ (Բոյլ-Մարիոտի օրենք),

իզոբար պրոցես ($p = const$)՝ $V \sim T$ (Գեյ-Լյուսակի օրենք),

իզոխոր պրոցես ($V = const$)՝ $p \sim T$ (Շառլի օրենք):

2. Իդեալական գազը զրոյի ձգտող չափերով մասնիկների համախումբ է, որոնց միջև ձգողության ուժերը բացակայում են, իսկ վանողության ուժերն արտահայտվում են մասնիկների միջև բախումների ձևով:

3. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումը տրված քանակով գազի համար՝ $pV/T = const$ (Կլապեյրոնի հավասարում):

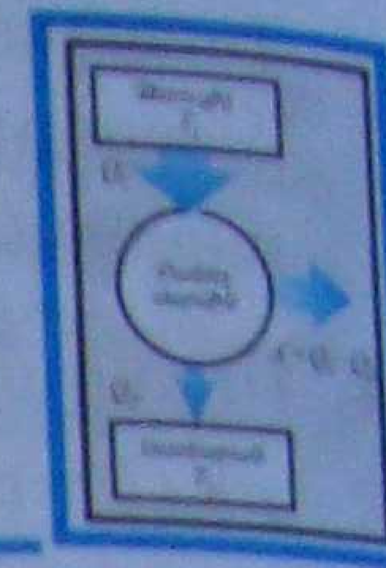
4. Գազի ճնշման կախումը գազի զանգվածից (m) և տեսակից (M) տրվում է $pV = mRT/M$ բանաձևով (Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարում), որտեղ $R = 8{,}31$ Ջ/(Կ · մոլ) մեծությունը ունիվերսալ գազային հաստատունն է:

5. Իրական գազերը կարելի է համարել իդեալական փոքր խտությունների և բարձր ջերմաստիճանների դեպքում:

6. Մեկ մասնիկին բաժին ընկնող ջերմային շարժման միջին կինետիկ էներգիան՝ $\overline{\varepsilon} = 3\,k_BT/2$ ($k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Կ մեծությունը Բոլցմանի հաստատունն է), որի համաձայն T բացարձակ ջերմաստիճանը մասնիկների ջերմային շարժման քանակական բնութագիրն է:

7. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը՝ $p = nk_BT$, որտեղ n-ը մասնիկների կոնցենտրացիան է:

8. Բացարձակ (T) և Ցելսիուսի (t) ջերմաստիճանային սանդղակների կապը տրվում է $T = 273 + t$ բանաձևով: Բնության մեջ հնարավոր ամենացածր ջերմաստիճանը բացարձակ զրո ջերմաստիճանն է՝ $T = 0$Կ ($t_0 = -273$°C):



15 ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ

§ 71. Ներքին էներգիա

Ինչպես գիտենք, մակրոսկոպական համակարգի ներքին վիճակը բնութագրվում է մակրոսկոպական (ջերմադինամիկական) պարամետրերի միջոցով, որոնք չափվում են տարբեր սարքերի (օրինակ՝ ջերմաչափ, մանոմետր և այլն) օգնությամբ:

Երբ համակարգի վիճակը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է, այսինքն՝ համակարգում ընթանում են որոշակի պրոցեսներ, ապա փոփոխվում են նաև ջերմադինամիկական պարամետրերը: Ինչո՞վ են պայմանավորված այդ պրոցեսները, ի՞նչ ազդակների շնորհիվ և ինչպե՞ս են ընթանում դրանք: Թվարկված և նման այլ հարցերին պատասխանում է *ջերմադինամիկան*, որն ***ուսումնասիրում է մակրոսկոպական մարմիններում տեղի ունեցող ջերմային երևույթները***:

Մակրոսկոպական մարմինները, մեխանիկական էներգիայից բացի, օժտված են նաև ***ներքին էներգիայով***: Ծանոթ լինելով մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթներին՝ դժվար չէ հասկանալ, թե ինչ ծագում ունի մարմնի ներքին էներգիան: Քանի որ ցանկացած մարմին բաղկացած է մասնիկներից, որոնք գտնվում են անընդհատ շարժման մեջ և փոխազդում են միմյանց հետ, ապա այդ մասնիկներից կազմված մարմինն օժտված կլինի էներգիայով: Այսպիսով, համակարգի ներքին էներգիան կարելի է սահմանել հետևյալ կերպ՝ ***մակրոսկոպական մարմնի ներքին էներգիան հավասար է մարմինը կազմող բոլոր մասնիկների՝ մարմնի զանգվածների կենտրոնի նկատմամբ քաոսային շարժման կինետիկ էներգիաների և բոլոր մասնիկների՝ միմյանց հետ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարին***:

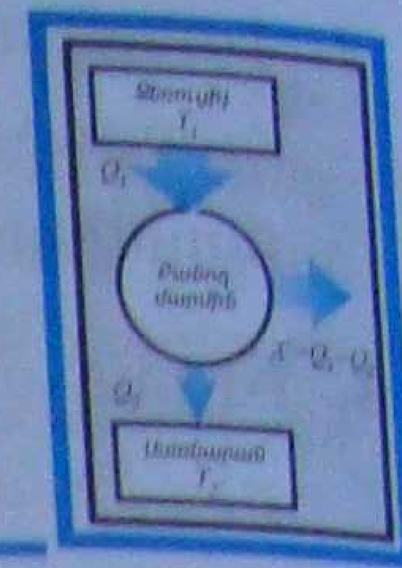
Մարմնի ներքին էներգիայի մեջ ներդրում չի տալիս ինչպես մարմնի (որպես ամբողջություն) շարժման կինետիկ էներգիան, այնպես էլ այլ մարմինների հետ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան: Ներքին էներգիայի մեջ հաշվառվում է նաև մասնիկների՝ ատոմների և մոլեկուլների կազմի մեջ մտնող էլեկտրոնների և միջուկների շարժմամբ և փոխազդեցությամբ պայմանավորված էներգիան, սակայն ջերմադինամիկայում դիտարկվող ջերմաստիճանների փոփոխությունների համար այդ ներմասնիկային էներգիան մնում է հաստատուն, ուստի այն ջերմային պրոցեսներն ուսումնասիրելիս կարելի է հաշվի չառնել:

Կարելի է ներմուծել մարմնի ***լրիվ էներգիայի*** ($E_{լրիվ}$) հասկացությունը որպես մարմնի ներքին էներգիայի (U) և մեխանիկական՝ կինետիկ ($E_կ$) և պոտենցիալ ($E_պ$) էներգիաների գումար՝

$$E_{լրիվ} = U + E_կ + E_պ = U + E : \qquad (15.1)$$

Երբ մարմինը դադարի վիճակում է՝ $E_կ = 0$ և չի փոխազդում այլ մարմինների հետ՝ $E_պ = 0$, ապա մարմնի լրիվ էներգիան համընկնում է նրա ներքին էներգիայի հետ:

15 ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ



§ 71. Ներքին էներգիա

Ինչպես գիտենք, մակրոսկոպական համակարգի ներքին վիճակը բնութագրվում է մակրոսկոպական (ջերմադինամիկական) պարամետրերի միջոցով, որոնք չափվում են տարբեր սարքերի (օրինակ՝ ջերմաչափ, մանոմետր և այլն) օգնությամբ:

Երբ համակարգի վիճակը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է, այսինքն՝ համակարգում ընթանում են որոշակի պրոցեսներ, ապա փոփոխվում են նաև ջերմադինամիկական պարամետրերը: Ինչո՞վ են պայմանավորված այդ պրոցեսները, ի՞նչ ազդակների շնորհիվ և ինչպե՞ս են ընթանում դրանք: Թվարկված և նման այլ հարցերին պատասխանում է *ջերմադինամիկան*, որն ***ուսումնասիրում է մակրոսկոպական մարմիններում տեղի ունեցող ջերմային երևույթները***:

Մակրոսկոպական մարմինները, մեխանիկական էներգիայից բացի, օժտված են նաև ***ներքին էներգիայով***: Ծանոթ լինելով մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնադրույթներին՝ դժվար չէ հասկանալ, թե ինչ ծագում ունի մարմնի ներքին էներգիան: Քանի որ յուրաքանչյուր մարմին բաղկացած է մասնիկներից, որոնք գտնվում են անընդհատ շարժման մեջ և փոխազդում են միմյանց հետ, ապա այդ մասնիկներից կազմված մարմինն օժտված կլինի էներգիայով: Այսպիսով, համակարգի ներքին էներգիան կարելի է սահմանել հետևյալ կերպ՝ ***մակրոսկոպական մարմնի ներքին էներգիան հավասար է մարմինը կազմող բոլոր մասնիկների՝ մարմնի զանգվածների կենտրոնի նկատմամբ քաոսային շարժման կինետիկ էներգիաների և բոլոր մասնիկների՝ միմյանց հետ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարին***:

Մարմնի ներքին էներգիայի մեջ ներդրում չի տալիս ինչպես մարմնի (որպես ամբողջություն) շարժման կինետիկ էներգիան, այնպես էլ այլ մարմինների հետ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան: Ներքին էներգիայի մեջ հաշվառվում է նաև մասնիկների՝ ատոմների և մոլեկուլների կազմի մեջ մտնող էլեկտրոնների և միջուկների շարժմամբ և փոխազդեցությամբ պայմանավորված էներգիան, սակայն ջերմադինամիկայում դիտարկվող ջերմաստիճանների փոփոխությունների համար այդ ներմասնիկային էներգիան մնում է հաստատուն, ուստի այն ջերմային պրոցեսներն ուսումնասիրելիս կարելի է հաշվի չառնել:

Կարելի է ներմուծել մարմնի ***լրիվ էներգիայի*** ($E_{լրիվ}$) հասկացությունը որպես մարմնի ներքին էներգիայի (U) և մեխանիկական՝ կինետիկ ($E_կ$) և պոտենցիալ ($E_պ$) էներգիաների գումար՝

$$E_{լրիվ} = U + E_կ + E_պ = U + E \,: \qquad (15.1)$$

Երբ մարմինը դադարի վիճակում է՝ $E_կ = 0$ և չի փոխազդում այլ մարմինների հետ՝ $E_պ = 0$, ապա մարմնի լրիվ էներգիան համընկնում է նրա ներքին էներգիայի հետ:

Քանի որ ջերմադինամիկական համակարգի վիճակը միարժեքորեն որոշվում է մակրոսկոպական պարամետրերով, ապա մարմնի ներքին էներգիան ևս միարժեքորեն կախված է այդ պարամետրերից: Իրոք, մարմինը կազմող մասնիկների շարժման միջին կինետիկ էներգիան կախված է մարմնի T ջերմաստիճանից: Մյուս կողմից, մարմնի մասնիկների փոխազդեցության էներգիան կախված է միջմասնիկային միջին հեռավորությունից, ուստի և՝ մարմնի V ծավալից: Այսպիսով՝ մարմնի ներքին էներգիան որոշվում է նրա ջերմաստիճանի և ծավալի ընդունած արժեքներով՝ $U=U(T,V)$: $U(T,V)$ կախման կոնկրետ տեսքը որոշվում է համակարգի բնույթով:

Ներքին էներգիան ամենապարզ տեսքն ունի իդեալական միատոմ գազի համար: Իրոք, իդեալական գազի մասնիկները միմյանց հետ չեն փոխազդում, ուստի ներքին էներգիան հավասար կլինի միայն մասնիկների ջերմային շարժման կինետիկ էներգիաների գումարին: Մեկ մասնիկին բաժին ընկնող $\overline{\varepsilon}=3k_BT/2$ միջին էներգիան բազմապատկելով գազի մասնիկների N թվով՝ ներքին էներգիայի համար կստանանք՝

$$\boxed{U = N\overline{\varepsilon} = \frac{3}{2}Nk_BT} \quad : \qquad (15.2)$$

Այսպիսով՝ ***միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան ուղիղ համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին, մասնիկների թվին և կախված չէ գազի ծավալից***: Եթե (15.2) բանաձևում մասնիկների թիվն արտահայտենք գազի m զանգվածի և M մոլային զանգվածի միջոցով՝ $N = N_A m/M$, ապա կստանանք՝

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}N_A k_B T = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}\nu RT, \qquad (15.3)$$

որտեղ $R = N_A k_B$-ն ունիվերսալ գազային հաստատունն է: (15.3) բանաձևն արտահայտում է ներքին էներգիայի կախումը գազի զանգվածից՝ $U \sim m$, և մոլային զանգվածից՝ $U \sim 1/M$:

Ներքին էներգիայի՝ ջերմաստիճանից գծային կախումը տեղի ունի նաև բազմատոմ մոլեկուլներից բաղկացած իդեալական գազի համար, սակայն (15.2) և (15.3) բանաձևերում 3/2 թվային գործակիցին փոխարինում է այլ, ավելի մեծ թիվ: Բանն այն է, որ բազմատոմ մոլեկուլները կարող են ոչ միայն համընթաց շարժվել, այլև պտտվել տարածության մեջ, իսկ մոլեկուլի մեջ մտնող ատոմները՝ տատանվել մոլեկուլի ծանրության կենտրոնի շուրջը:

Իրական գազերի ներքին էներգիան հիմնականում կախված է ջերմաստիճանից, սակայն առկա է նաև թույլ կախում գազի ծավալից, ինչը պայմանավորված է իրական գազի մասնիկների փոխադարձ ձգողության թույլ ուժերով:

Ի տարբերություն գազերի՝ հեղուկներում և պինդ մարմիններում մասնիկների միջին կինետիկ և միջին պոտենցիալ էներգիաները նույն կարգի մեծություններ են, ուստի դրանց ներքին էներգիան էապես կախված է ծավալից:

Ջերմադինամիկական պրոցեսներն ուսումնասիրելու համար նախ պետք է պարզել, թե ինչ գործոնների ազդեցությամբ է փոխվում համակարգի վիճակը: Հայտնի է ջերմադինամիկական համակարգի վիճակի, հետևաբար, ***ներքին էներգիայի փոփոխության երկու սկզբունքորեն տարբեր եղանակ՝ աշխատանքի կատարում և ջերմահաղորդում:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք ներքին էներգիայի սահմանումը:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան:*
3. *Ի՞նչ մակրոսկոպական պարամետրերից է կախված մարմնի ներքին էներգիան: Տվե՛ք բացատրություն:*
4. *Ե՞րբ է մարմնի ներքին էներգիան համընկնում նրա լրիվ էներգիայի հետ:*
5. *Ինչպե՞ս է իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված գազի ծավալից և մոլային ծավալից:*
6. *Ինչպե՞ս է բազմատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված ջերմաստիճանից:*
7. *Փոփոխվո՞ւմ է արդյոք իդեալական գազի ներքին էներգիան իզոթերմ պրոցեսում:*
8. *Փոփոխվո՞ւմ է արդյոք իրական գազի ներքին էներգիան իզոթերմ պրոցեսում:*

§ 72. Աշխատանքը ջերմադինամիկայում

Համաձայն մեխանիկական աշխատանքի սահմանման՝

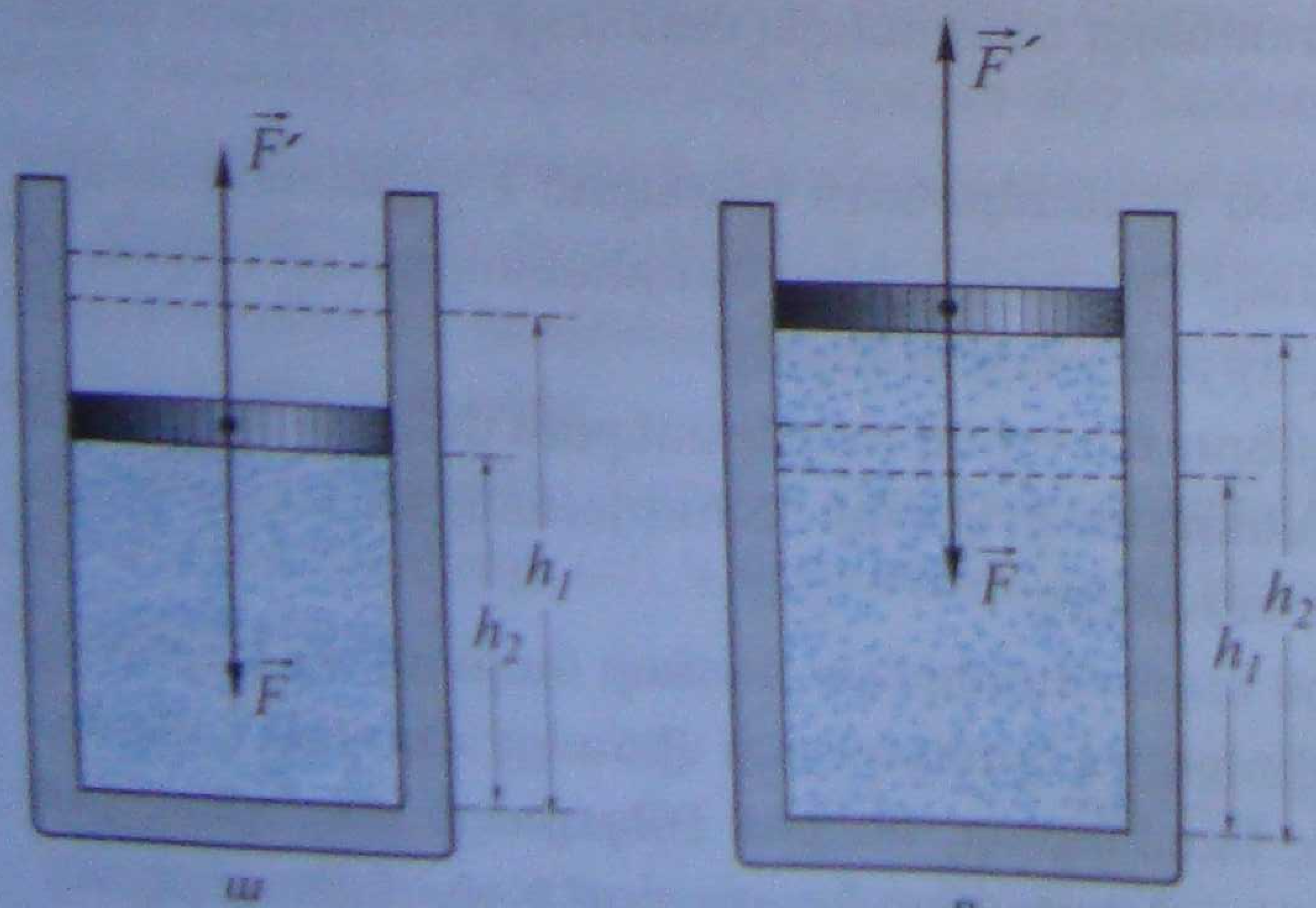
$$A=|\vec{F}||\Delta\vec{h}|\cos\alpha, \qquad (15.4)$$

որտեղ $\vec{F}$-ն ազդող ուժն է, $\Delta\vec{h}$-ը՝ տեղափոխությունը, α-ն՝ ուժի և տեղափոխության վեկտորներով կազմված անկյունը: (15.4) սահմանման մեջ ենթադրվում է, որ $\Delta\vec{h}$ տեղափոխության ընթացքում $\vec{F}$ ուժը մոդուլով և ուղղությամբ մնում է հաստատուն:

Եթե արտաքին ուժը մարմնի վրա աշխատանք է կատարում, ապա դրա արդյունքում փոփոխվում է մարմնի կինետիկ էներգիան:

Սովորաբար ջերմադինամիկայում ուսումնասիրվում են ջերմային երևույթներն այնպիսի համակարգում, որն իբրև ամբողջություն անշարժ է, սակայն որի տարբեր մակրոսկոպական մասեր կարող են տեղաշարժվել իրար նկատմամբ: Տեղաշարժման արդյունքում փոխվում է համակարգի ծավալը, և կատարվում է աշխատանք: Ինչի՞ վրա է ծախսվում կատարված աշխատանքը: Քննարկենք գլանում, մխոցի տակ գտնվող գազի օրինակը (նկ. 162):

Մխոցն իջեցնելիս արտաքին ուժը համակարգի՝ գազի վրա աշխատանք է կատարում՝ սեղմելով այն: Մխոցին ընդառաջ շարժվող մոլեկուլները, բախվելով մխոցին, նրանից ստացած մեխանիկական էներգիայի հաշվին մեծացնում են իրենց կինետիկ էներգիաները, և արտաքին ուժի կատարած աշխատանքի հաշվին մեծանում է գազի ներքին էներգիան:



Նկ. 162

Եթե արտաքին ուժի ազդեցությամբ գազն ընդարձակվի, ապա իրենցից հեռացող մխոցի հետ բախման արդյունքում մոլեկուլների կինետիկ էներգիաները կնվազեն, ուստի կնվազի նաև գազի ներքին էներգիան: Սեղմման կամ ընդար-

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Տվե՛ք ներքին էներգիայի սահմանումը:
2. Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան:
3. Ի՞նչ մակրոսկոպական պարամետրերից է կախված մարմնի ներքին էներգիան: Տվե՛ք բացատրություն:
4. Ե՞րբ է մարմնի ներքին էներգիան համընկնում նրա լրիվ էներգիայի հետ:
5. Ինչպե՞ս է իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված գազի զանգվածից և մոլային զանգվածից:
6. Ինչպե՞ս է բազմատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան կախված ջերմաստիճանից:
7. Փոփոխվո՞ւմ է արդյոք իդեալական գազի ներքին էներգիան իզոթերմ պրոցեսում:
8. Փոփոխվո՞ւմ է արդյոք իրական գազի ներքին էներգիան իզոթերմ պրոցեսում:

§ 72. Աշխատանքը ջերմադինամիկայում

Համաձայն մեխանիկական աշխատանքի սահմանման՝

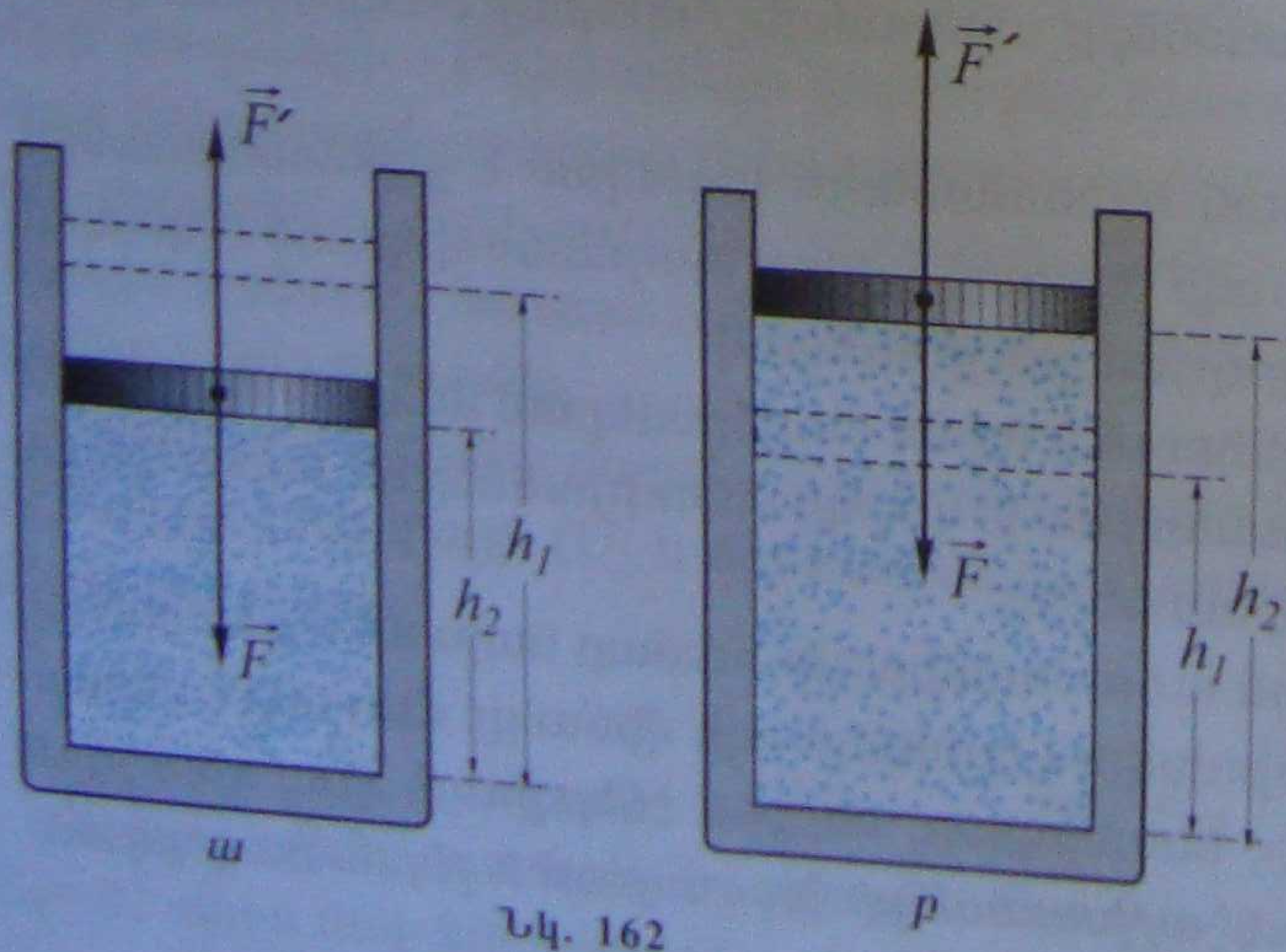
$$A = |\vec{F}||\Delta\vec{h}|cos\alpha , \qquad (15.4)$$

որտեղ $\vec{F}$-ն ազդող ուժն է, $\Delta\vec{h}$-ը՝ տեղափոխությունը, α-ն՝ ուժի և տեղափոխության վեկտորներով կազմված անկյունը: (15.4) սահմանման մեջ ենթադրվում է, որ $\Delta\vec{h}$ տեղափոխության ընթացքում $\vec{F}$ ուժը մոդուլով և ուղղությամբ մնում է հաստատուն:

Եթե արտաքին ուժը մարմնի վրա աշխատանք է կատարում, ապա դրա արդյունքում փոփոխվում է մարմնի կինետիկ էներգիան:

Սովորաբար ջերմադինամիկայում ուսումնասիրվում են ջերմային երևույթներն այնպիսի համակարգում, որն իբրև ամբողջություն անշարժ է, սակայն որի տարբեր մակրոսկոպական մասեր կարող են տեղաշարժվել իրար նկատմամբ: Տեղաշարժման արդյունքում փոխվում է համակարգի ծավալը, և կատարվում է աշխատանք: Ինչի՞ վրա է ծախսվում կատարված աշխատանքը: Քննարկենք գլանում, մխոցի տակ գտնվող գազի օրինակը (նկ. 162):

Մխոցն իջեցնելիս արտաքին ուժը համակարգի՝ գազի վրա աշխատանք է կատարում՝ սեղմելով այն: Մխոցին ընդառաջ շարժվող մոլեկուլները, բախվելով մխոցին, նրանից ստացած մեխանիկական էներգիայի հաշվին մեծացնում են իրենց կինետիկ էներգիաները, և արտաքին ուժի կատարած աշխատանքի հաշվին մեծանում է գազի ներքին էներգիան:



Նկ. 162

Եթե արտաքին ուժի ազդեցությամբ գազն ընդարձակվի, ապա իրենցից հեռացող մխոցի հետ բախման արդյունքում մոլեկուլների կինետիկ էներգիաները կնվազեն, ուստի կնվազի նաև գազի ներքին էներգիան: Սեղմման կամ ընդար-

ծակման դեպքում փոփոխվում է նաև մոլեկուլների փոխազդեցության միջին պոտենցիալ էներգիան, որի հաշվառումը, ի տարբերություն գազերի, անհրաժեշտ է հեղուկներում ու պինդ մարմիններում:

Այսպիսով, ***եթե մեխանիկայում արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը մարմնի կինետիկ էներգիայի փոփոխության չափն է, ապա ջերմադինամիկայում այն մարմնի (համակարգի) ներքին էներգիայի փոփոխության չափն է:***

Այժմ հաշվենք արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը՝ օգտվելով (15.4) բանաձևից, նրանում առկա մեծություններն արտահայտելով ջերմադինամիկական պարամետրերով:

Դիցուք՝ գազը սեղմվում է, այսինքն՝ ազդող ուժի և մխոցի տեղափոխության ուղղությունները համընկնում են, և (15.4) բանաձևում $\alpha = 0$: Մխոցի վրա ազդում է նաև գազի ճնշման $\vec{F}'$ ուժը, որն ուղղված է $\vec{F}$-ին հակառակ: Քանի որ ջերմադինամիկայում մենք գործ ունենք «դանդաղ» ընթացող պրոցեսների հետ, ապա կարող ենք ընդունել, որ մխոցը շարժվում է առանց արագացման, այսինքն՝ արտաքին ուժը հավասարվում է գազի կողմից մխոցի վրա ազդող ճնշման ուժով՝

$$F=F'=pS\ , \qquad (15.5)$$

որտեղ S-ը մխոցի մակերեսն է, p-ն՝ գազի ճնշումը: (15.4) և (15.5) արտահայտություններից արտաքին ուժի կատարած աշխատանքի համար կստանանք (նկ. 162,*ա*)՝

$$A = F\cdot(h_1-h_2) = pS(h_1-h_2) = p(Sh_1-Sh_2) = p(V_1-V_2) = -p\Delta V\ , \qquad (15.6)$$

որտեղ $\Delta V = V_2-V_1$-ը գազի ծավալի փոփոխությունն է: Քանի որ $V_2 < V_1$ (սեղմում), ապա $\Delta V < 0$, և արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը դրական է: Հակառակ դեպքում, երբ գազն ընդարձակվում է, $V_2 > V_1$, $\Delta V > 0$, և արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը բացասական է (նկ. 162,*բ*):

Գազի կողմից մխոցի վրա ազդող $\vec{F}'$ ուժի կատարած աշխատանքը $\vec{F}$ ուժի կատարած աշխատանքից (նույն Δh-ի դեպքում) տարբերվում է միայն նշանով, քանի որ $\vec{F}' = -\vec{F}$, հետևաբար՝

$$A' = -A\ , \qquad (15.7)$$

կամ, նկատի ունենալով (15.6) բանաձևը, կստանանք՝

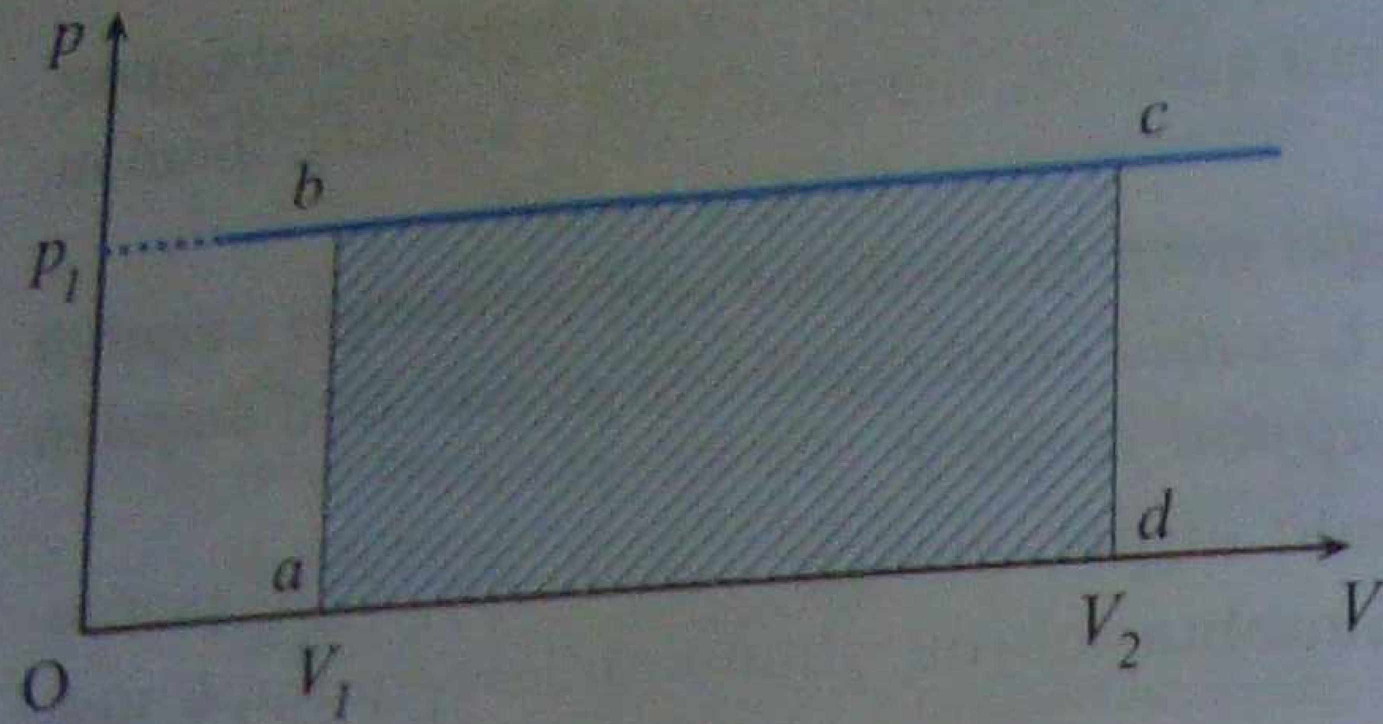
$$\boxed{A' = p\,\Delta V}\ : \qquad (15.8)$$

Այսպիսով՝ ընդարձակվելիս՝ $\Delta V > 0$, գազը կատարում է դրական աշխատանք, իսկ սեղմվելիս՝ բացասական:

Աշխատանքի համար ստացված (15.6) և (15.8) արտահայտություններն իրավացի են ոչ միայն գազի, այլև ցանկացած ջերմադինամիկական համակարգի ծավալի փոքր՝ $|\Delta V| << V$ փոփոխությունների համար: $|\Delta V|$-ի փոքր լինելու պահանջը թույլ է տալիս համակարգի ծավալի ΔV փոփոխության պրոցեսում գազի p ճնշումը, հետևաբար՝ նաև ազդող ուժը համարել հաստատուն:

Եթե ճնշումը հաստատուն է ծավալի ցանկացած փոփոխության համար, այսինքն՝ եթե պրոցեսն իզոբար է՝ $p = const$, ապա (15.6) և (15.8) բանաձևերը կիրառելի են ծավալի ցանկացած վերջավոր փոփոխությունների համար:

Աշխատանքի երկրաչափական մեկնաբանությունը: (p, V) կոորդինատային հարթության վրա պատկերենք իզոբար պրոցեսի գրաֆիկը (նկ. 163): Եթե գազի ծավալը փոխվում է V_1-ից մինչև V_2, ապա գազի կատարած աշխատանքը, համաձայն (15.8) բանաձևի, կլինի հավասար`



Նկ. 163

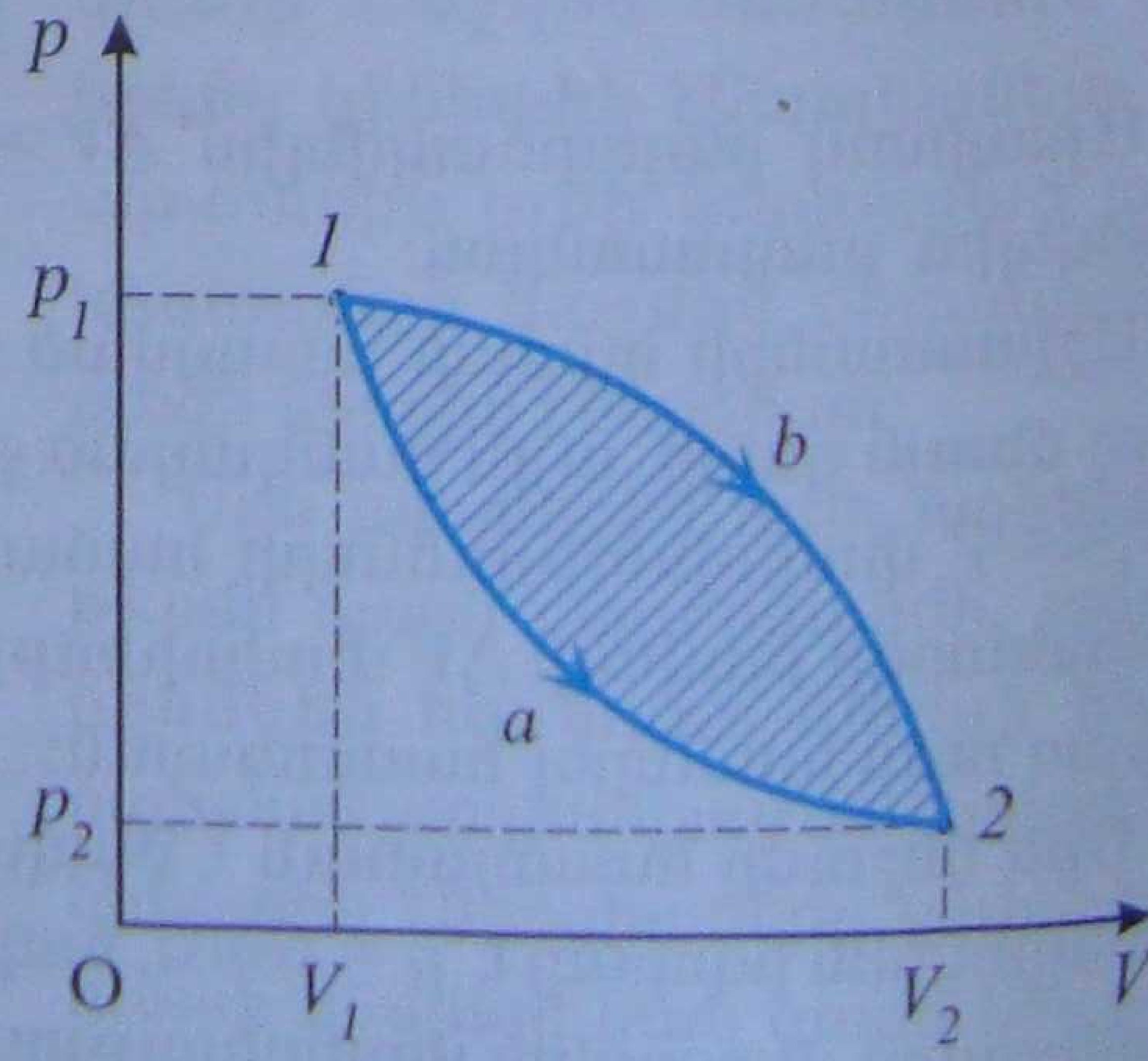
$$A'_{1\to2} = p\Delta V = p(V_2 - V_1) \qquad (15.9)$$

և կպատկերվի *abcd* ուղղանկյան մակերեսով, որը սահմանափակված է $p = p_1 = const$ գրաֆիկով, V-երի առանցքով ու V_1 և V_2 ծավալներին համապատասխանող կետերում կանգնեցված *ab* և *cd* ուղղահայացներով:

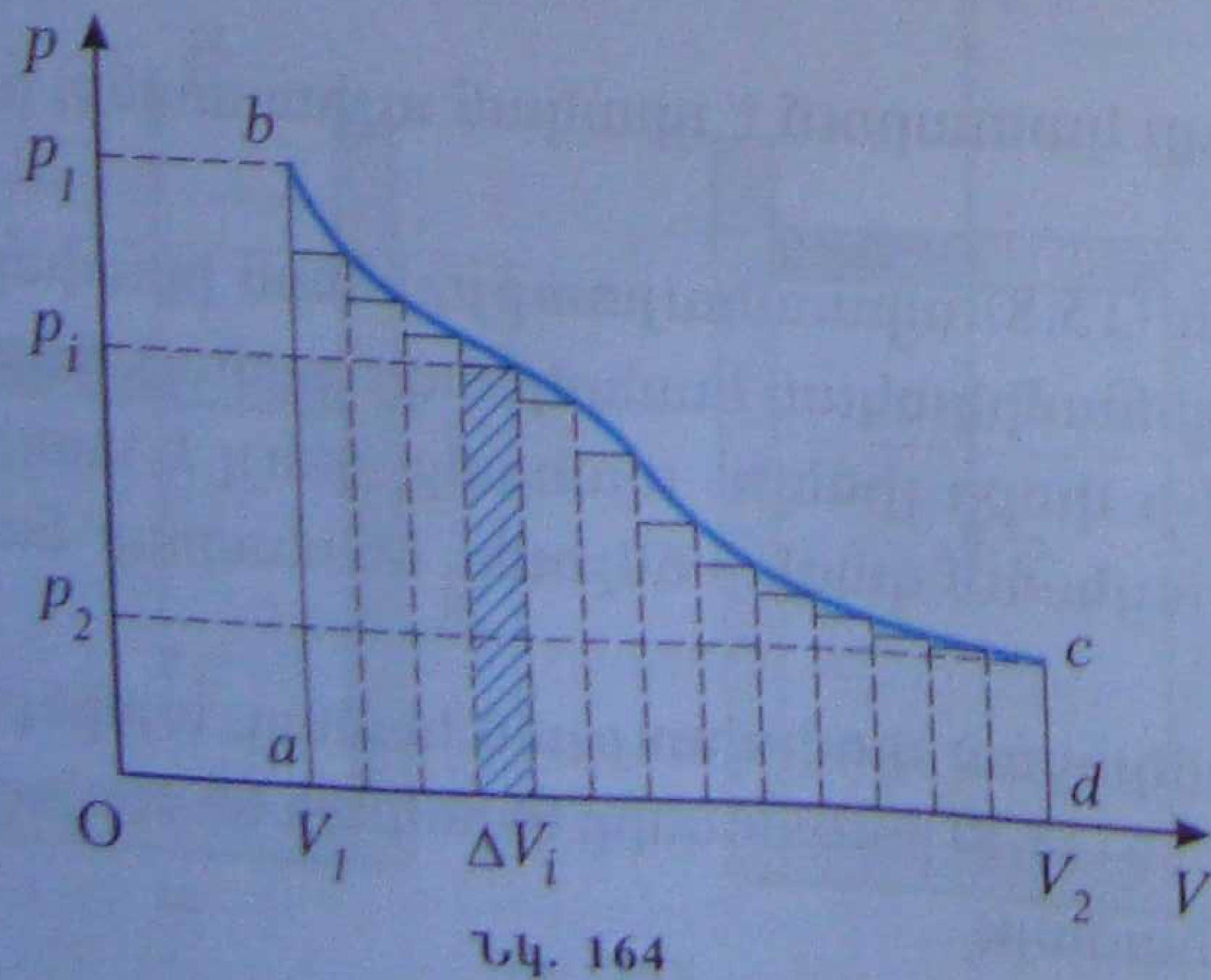
Եթե պրոցեսն իզոբար չէ, ապա չի կարելի օգտվել (15.9) բանաձևից, սակայն աշխատանքը նորից տրվում է $p(V)$ գրաֆիկի տակ ընկած պատկերի մակերեսով: Իրոք, դիցուք` գազն ընդարձակվում է $V_1$-ից մինչև $V_2$ նկ.164-ում պատկերված պրոցեսում: $V_1V_2$ հատվածը բաժանենք փոքր` ΔV_i (ոչ անպայման իրար հավասար) մասերի և հաշվենք գազի` ΔV_i-ով ընդարձակման ժամանակ կատարած աշխատանքը: Քանի որ $\Delta V_i \ll V_1, V_2$, ապա կարող ենք օգտվել (15.8) բանաձևից, որին համապատասխանում է $A'_i = p_i\Delta V_i$ արժեքը (նկ. 164-ում գծապատված մակերեսը): $V_1 \to V_2$ ընդարձակման պրոցեսում գազի կատարած աշխատանքը հավասար կլինի բոլոր A'_i աշխատանքների գումարին, որը հավասար է նկ. 164-ում պատկերված աստիճանավոր պատկերի մակերեսին: Եթե այժմ $\Delta V_i \to 0$, ապա այդ պատկերի մակերեսը կհամընկնի $p(V)$ գրաֆիկի տակ ընկած *abcd* կորագիծ սեղանի մակերեսին:

Օգտվելով աշխատանքի երկրաչափական մեկնաբանությունից` պարզենք ջերմադինամիկայում աշխատանքի մի կարևոր առանձնահատկություն:

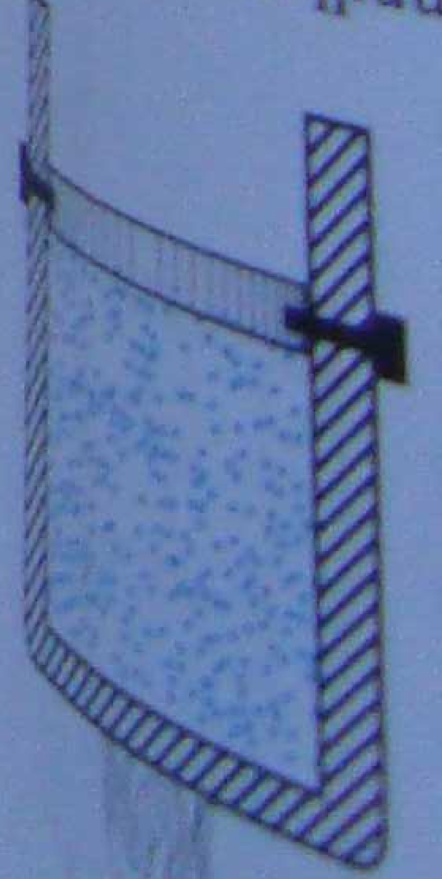
Դիցուք` գազն ընդարձակվում է $V_1$-ից մինչև $V_2$ երկու ձևով` $1 \to a \to 2$ պրոցեսում և $1 \to b \to 2$ պրոցեսում (նկ. 165): $1 \to a \to 2$ պրոցեսում գազի կատարած աշխատանքը հավասար է $S_1 = V_1 1a2V_2V_1$ մակերեսին, իսկ $1 \to b \to 2$ պրոցեսում` $S_2 = V_1 1b2V_2V_1$ մակերեսին, որն S_1-ից մեծ է նկ. 166-ում գծապատված պատկերի մակերեսի չափով:

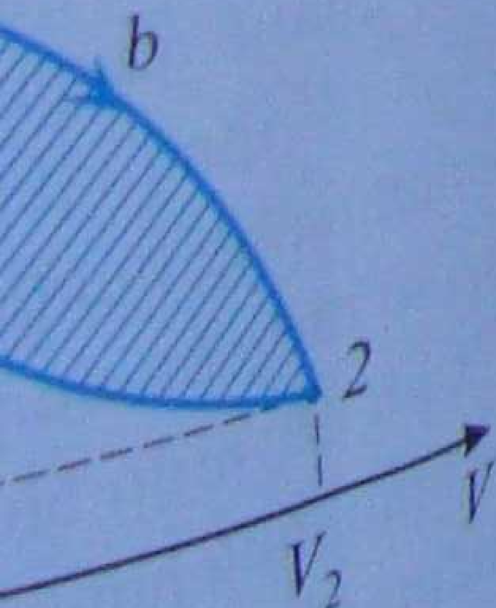


Նկ. 164



Նկ. 165





Այսպիսով՝ 1-ին վիճակից 2-րդ վիճակին անցնելու պրոցեսում գազի կատարած աշխատանքը կախված է պրոցեսի ձևից, այսինքն՝ $1 \to 2$ անցման ընթացքում ճնշման՝ ծավալից ունեցող կախումից: Ընդունված է ասել, որ աշխատանքը պրոցեսի ֆունկցիա է՝ նշելով նրա՝ $1 \to 2$ անցման կոնկրետ ձևից կախված լինելու փաստը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

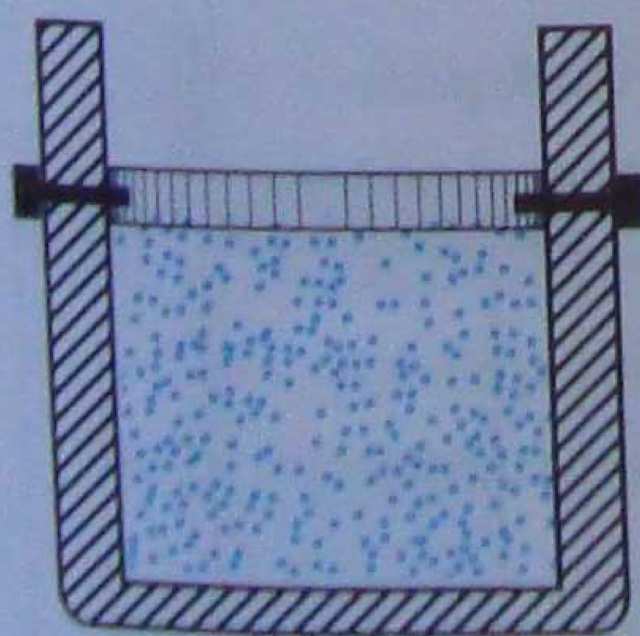
1. *Ինչի՞ է հավասար իզոբար պրոցեսում գազի կատարած աշխատանքը:*
2. *Գրե՛ք իզոբար ընդարձակման պրոցեսում գազի կատարած աշխատանքի բանաձևը:*
3. *Գրե՛ք իզոբար սեղմման պրոցեսում արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքի բանաձևը:*
4. *Տվե՛ք գազի կատարած աշխատանքի երկրաչափական մեկնաբանությունը:*
5. *Բացատրե՛ք, կախվա՞ծ է արդյոք գազի կատարած աշխատանքը պրոցեսից:*

§ 73. Ջերմաքանակ

Երբ ջերմադինամիկական համակարգն աշխատանք է կատարում, այդ պրոցեսում փոխվում է նրա վիճակը, հետևաբար՝ նաև համակարգի ներքին էներգիան:

Սակայն համակարգի վիճակը կարելի է փոփոխել նաև առանց աշխատանք կատարելու: Օրինակ՝ եթե գլանում գտնվող գազի ծավալը պահենք հաստատուն (մխոցն ամրացնենք) և այն տաքացնենք (նկ. 166), ապա գազի վիճակը կփոխվի. նրա ջերմաստիճանը և ճնշումը կաճեն: Կմեծանա նաև գազի ներքին էներգիան: Տվյալ դեպքում մենք գործ ունենք ջերմափոխանակման (ջերմահաղորդման) պրոցեսի հետ, երբ մի մարմնից մյուսին էներգիա է հաղորդվում առանց աշխատանք կատարելու (մխոցն ամրացված է՝ $\Delta V = 0$, ուստի $A' = 0$): ***Ջերմափոխանակման պրոցեսում համակարգին տրված կամ նրանից վերցված էներգիան կոչվում է ջերմաքանակ:*** Ջերմափոխանակումը համակարգի վիճակի փոփոխության երկրորդ ձևն է: Ընդունված է մարմնի ստացած (կամ մարմնին հաղորդած) ջերմաքանակը համարել դրական՝ $Q > 0$, իսկ մարմնի տված (կամ մարմնից վերցված) ջերմաքանակը՝ բացասական՝ $Q < 0$:

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության համաձայն՝ ջերմահաղորդման պրոցեսում տաք մարմնի մոլեկուլները, փոխազդելով սառը մարմնի մոլեկուլների հետ, նրանց են հաղորդում իրենց կինետիկ էներգիայի մի մասը: Արդյունքում տաք մարմնի ներքին էներգիան նվազում է, իսկ սառը մարմինը՝ աճում: Այսպիսով՝ տաք մարմինը, որպես ջերմաքանակ, սառը մարմնին է տալիս որոշակի ներքին էներգիա:



Նկ. 166

Ինչպես գիտենք VII դասարանի դասընթացից, m զանգվածով մարմնի ջերմաստիճանը t_1-ից t_2 դարձնելու համար պահանջվող ջերմաքանակը՝

$$Q = mc\left(t_2 - t_1\right) = mc\Delta t, \qquad (15.10)$$

որտեղ c-ն մարմնի տեսակարար ջերմունակությունն է, $\Delta t = t_2 - t_1$-ը՝ մարմնի ջերմաստիճանի փոփոխությունը: Մարմինը

տաքացնելիս նրան տրվում է ջերմաքանակ՝ $Q>0$, և մարմնի ջերմաստիճանն աճում է՝ $\Delta t>0$ կամ $t_2>t_1$: Երբ մարմինից վերցվում է ջերմաքանակ՝ $Q<0$, ապա մարմնի ջերմաստիճանը նվազում է՝ $t_2<t_1$: (15.10) բանաձևում c ***տեսակարար ջերմունակությունը*** նյութի ջերմային հատկությունները բնութագրող մեծություն է և ***թվապես հավասար է այն ջերմաքանակին, որն անհրաժեշտ է 1 կգ նյութի ջերմաստիճանը մեկ աստիճանով (1 Կ-ով) փոփոխելու համար***: Այն արտահայտվում է Ջ/(կգ·Կ) միավորով:

Այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է m զանգվածով նյութի ջերմաստիճանը 1Կ-ով փոփոխելու համար, կոչվում է ջերմունակություն (C). այն արտահայտվում է Ջ/Կ միավորով: Հաճախ օգտագործում են նաև մեկ մոլ նյութի կամ մոլային ջերմունակություն (C_μ) հասկացությունը: Մոլային ջերմունակությունն արտահայտվում է Ջ/(մոլ·Կ) միավորով: Այս ջերմունակությունները կապված են հետևյալ պարզ առնչություններով՝

$$C = cm, \quad (15.11)$$

$$C_\mu = \frac{C}{\nu} = Mc, \quad (15.12)$$

որտեղ ν-ն նյութի քանակն է, M-ը՝ մոլային զանգվածը:

Փորձում նյութի տեսակարար ջերմունակությունը չափում են կալորիմետրի օգնությամբ, որը շրջապատի ազդեցություններից մեկուսացված սարք է, և որտեղ տեղի է ունենում ջերմափոխանակություն տարբեր մարմինների միջև (նկ. 167): Որպես կանոն, ջերմափոխանակությանը մասնակցող մարմիններից մեկը տրված զանգվածով և սկզբնական ջերմաստիճանով ջուրն է, իսկ մյուսը՝ անհայտ ջերմունակությամբ մարմինը:

Կալորիմետրի մեջ իջեցնենք t_2 սկզբնական ջերմաստիճանով մի մարմին, որի c_2 տեսակարար ջերմունակությունը պետք է որոշել: Եթե կալորիմետրում ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $t_1<t_2$, ապա ջերմափոխանակման պրոցեսում մարմինը կհովանա, իսկ ջուրը կտաքանա: Ջերմային հավասարակշռության վիճակում կալորիմետրում հաստատվում է որոշակի t ջերմաստիճան, որն ավելի բարձր է, քան ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը, բայց ավելի ցածր է, քան մարմնինը՝ $t_1<t<t_2$: Ջերմային հավասարակշռության գալու պրոցեսում ջուրը ստանում է

$$Q_1 = m_1c_1(t-t_1)>0 \quad (15.13)$$

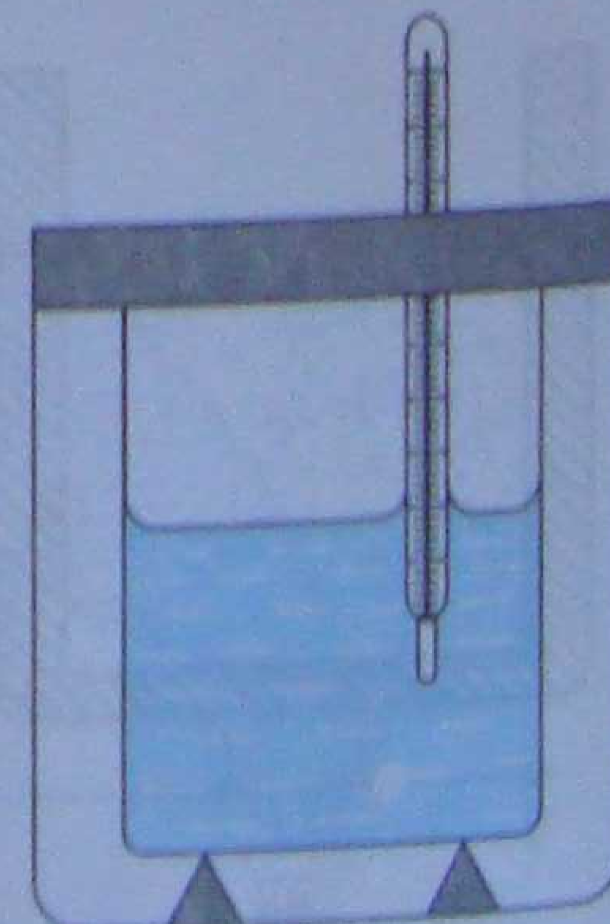
ջերմաքանակ, որտեղ c_1-ը ջրի տեսակարար ջերմունակությունն է, իսկ մարմինը ստանում է

$$Q_2 = m_2c_2(t-t_2)<0 \quad (15.14)$$

ջերմաքանակ: Քանի որ կալորիմետրը մեկուսացված է շրջապատից, ապա ջրի և մարմնի ստացած ջերմաքանակները պետք է լինեն մոդուլով իրար հավասար (իրականում գոյություն ունեցող ջերմային կորուստները կալորիմետրում հասցված են նվազագույնի, ուստի դրանք կարելի է անտեսել)՝

$$Q_1 + Q_2 = 0, \quad (15.15)$$

որտեղից անհայտ տեսակարար ջերմունակությունը՝



Նկ. 167

տաքացնելիս նրան տրվում է ջերմաքանակ՝ $Q>0$, և մարմնի ջերմաստիճանն աճում է՝ $\Delta t>0$ կամ $t_2>t_1$: Եթե մարմինից վերցվում է ջերմաքանակ՝ $Q<0$, ապա մարմնի ջերմաստիճանը նվազում է՝ $t_2<t_1$: (15.10) բանաձևում c ***տեսակարար ջերմունակությունը*** նյութի ջերմային հատկությունները բնութագրող մեծություն է և ***թվապես հավասար է այն ջերմաքանակին, որն անհրաժեշտ է 1 կգ նյութի ջերմաստիճանը մեկ աստիճանով (1 Կ-ով) փոփոխելու համար***: Այն արտահայտվում է Ջ/(կգ·Կ) միավորով:

Այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է m զանգվածով նյութի ջերմաստիճանը 1Կ-ով փոփոխելու համար, կոչվում է ջերմունակություն (C). այն արտահայտվում է Ջ/Կ միավորով: Հաճախ օգտագործում են նաև մեկ մոլ նյութի կամ մոլային ջերմունակության (C_μ) հասկացությունը: Մոլային ջերմունակությունն արտահայտվում է Ջ/(մոլ·Կ) միավորով: Այս ջերմունակությունները կապված են հետևյալ պարզ առնչություններով՝

$$C=cm\ , \tag{15.11}$$

$$C_\mu=\frac{C}{\nu}=Mc\ , \tag{15.12}$$

որտեղ ν-ն նյութի քանակն է, M-ը՝ մոլային զանգվածը:

Փորձում նյութի տեսակարար ջերմունակությունը չափում են կալորիմետրի օգնությամբ, որը շրջապատի ազդեցություններից մեկուսացված սարք է, և որտեղ տեղի է ունենում ջերմափոխանակություն տարբեր մարմինների միջև (նկ. 167): Որպես կանոն, ջերմափոխանակությանը մասնակցող մարմիններից մեկը տրված զանգվածով և սկզբնական ջերմաստիճանով ջուրն է, իսկ մյուսը՝ անհայտ ջերմունակությամբ մարմինը:

Կալորիմետրի մեջ իջեցնենք t_2 սկզբնական ջերմաստիճանով մի մարմին, որի c_2 տեսակարար ջերմունակությունը պետք է որոշել: Եթե կալորիմետրում ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը՝ $t_1<t_2$, ապա ջերմափոխանակման պրոցեսում մարմինը կհովանա, իսկ ջուրը կտաքանա: Ջերմային հավասարակշռության վիճակում կալորիմետրում հաստատվում է որոշակի t ջերմաստիճան, որն ավելի բարձր է, քան ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը, բայց ավելի ցածր է, քան մարմնինը՝ $t_1<t<t_2$: Ջերմային հավասարակշռության գալու պրոցեսում ջուրը ստանում է

$$Q_1=m_1c_1\left(t-t_1\right)>0 \tag{15.13}$$

ջերմաքանակ, որտեղ c_1-ը ջրի տեսակարար ջերմունակությունն է, իսկ մարմինը ստանում է

$$Q_2=m_2c_2\left(t-t_2\right)<0 \tag{15.14}$$

ջերմաքանակ: Քանի որ կալորիմետրը մեկուսացված է շրջապատից, ապա ջրի և մարմնի ստացած ջերմաքանակները պետք է լինեն մոդուլով իրար հավասար (իրականում գոյություն ունեցող ջերմային կորուստները կալորիմետրում հասցված են նվազագույնի, ուստի դրանք կարելի է անտեսել)՝

$$Q_1+Q_2=0\ , \tag{15.15}$$

որտեղից անհայտ տեսակարար ջերմունակությունը՝

Նկ. 167

$$c_2 = -c_1\frac{m_1(t-t_1)}{m_2(t-t_2)} = c_1\frac{m_1}{m_2}\cdot\frac{t-t_1}{t_2-t} > 0 \,. \qquad (15.16)$$

Մասնավոր դեպքում, երբ իրար են խառնում m_1 և m_2 զանգվածներով ու t_1 և t_2 սկզբնական ջերմաստիճաններով ջրի բաժիններ, (15.15) հավասարությունից խառնուրդի t ջերմաստիճանի համար կստանանք՝

$$t = \frac{m_1t_1 + m_2t_2}{m_1 + m_2} \,: \qquad (15.17)$$

Երբ մեկուսացված համակարգում ջերմափոխանակությանը մասնակցում է մի քանի մարմին, ապա (15.15) բանաձևը կարելի է ընդհանրացնել՝

$$\boxed{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0} \,, \qquad (15.18)$$

որտեղ Q_1, Q_2, ..., Q_n-ը մարմինների ստացած ջերմաքանակներն են: (15.18) առնչությունը հայտնի է որպես ***ջերմային հաշվեկշռի հավասարում***:

Որոշակի ֆիզիկական պրոցեսներ կարող են ընթանալ համակարգին ջերմաքանակ հաղորդելու կամ համակարգից այն վերցնելու դեպքում: Այսպես, հեղուկը հաստատուն ջերմաստիճանում ամբողջությամբ գոլորշու փոխակերպելու համար պահանջվող ջերմաքանակը, որը կոչվում է շոգեգոյացման ջերմություն՝ $Q_{շոգ}$, կախված է հեղուկի m զանգվածից: Իսկ ***1 կգ զանգվածով հեղուկը հաստատուն ջերմաստիճանում գոլորշու փոխակերպելու համար անհրաժեշտ ջերմաքանակը, որը կոչվում է շոգեգոյացման տեսակարար ջերմություն*** (r), կախված է հեղուկի հատկություններից և ջերմաստիճանից: Այն շոգեգոյացման ջերմության հետ կապված է

$$Q_{շոգ} = mr \qquad (15.19)$$

առնչությամբ: Երբ տեղի է ունենում հակառակ՝ գոլորշի → հեղուկ ֆազային անցումը, ապա այդ պրոցեսում գոլորշին ստանում է

$$Q_{խտ} = -mr \qquad (15.20)$$

ջերմաքանակ:

Նույն ձևով կարելի է ներկայացնել պինդ բյուրեղային մարմնի՝ հալման ջերմաստիճանում նույն ջերմաստիճանի հեղուկի փոխակերպման համար անհրաժեշտ հալման $Q_{հալ}$ ջերմաքանակի արտահայտությունը՝

$$Q_{հալ} = m\lambda \,, \qquad (15.21)$$

որտեղ λ ***հալման տեսակարար ջերմությունը 1 կգ զանգվածով բյուրեղային նյութը հաստատուն ջերմաստիճանում հալույթի փոխակերպելու համար անհրաժեշտ ջերմաքանակն է***:

Երբ m զանգվածով հալույթը հալման (կամ պնդացման) ջերմաստիճանում փոխակերպվում է բյուրեղային մարմնի, ապա այդ պրոցեսում հալույթի ստացած ջերմաքանակը՝

$$Q_{բյուր} = -m\lambda \,: \qquad (15.22)$$

Շոգեգոյացման և հալման տեսակարար ջերմությունները ունեն նույն՝ Ջ/կգ միավորը: r և λ մեծությունների մոլեկուլային-կինետիկ մեկնաբանումը կտրվի գլուխ 18-ում:

Որոշակի ջերմաքանակ է անջատվում ցանկացած վառելիքի այրման արդյունքում: **Այն ջերմաքանակը, որն անջատվում է 1 կգ զանգվածով վառելիքը լրիվ այրվելիս, կոչվում է վառելիքի այրման տեսակարար ջերմություն** (q) և արտահայտվում է Ջ/կգ միավորով: m զանգվածով վառելիքի այրման արդյունքում առաջանում է

$$Q = mq \qquad (15.23)$$

ջերմաքանակ: Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից այս ջերմաքանակը վառելիքում առկա ածխածնի և օդի թթվածնի միացման արդյունքում անջատվող էներգիան է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծությունն է կոչվում ջերմաքանակ:*
2. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում ջերմաքանակը միավորների ՄՀ-ում:*
3. *Գրե՛ք ջերմային հաշվեկշռի հավասարումը և պարզաբանե՛ք այն:*
4. *Տվե՛ք ջերմունակության, տեսակարար ջերմունակության և մոլային ջերմունակության սահմանումները:*
5. *Գրե՛ք ջերմունակության, տեսակարար ջերմունակության և մոլային ջերմունակության միջև առնչությունները:*
6. *Տվե՛ք շոգեգոյացման տեսակարար ջերմության սահմանումը:*
7. *Տվե՛ք պինդ բյուրեղային մարմնի հալման տեսակարար ջերմության սահմանումը:*
8. *Տվե՛ք վառելիքի այրման տեսակարար ջերմության սահմանումը:*

§ 74. Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը

Մեխանիկայում փակ համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է, եթե համակարգում բացակայում են շփման (դիմադրության) ուժերը, այսինքն՝ եթե համակարգ կազմող մարմինները փոխազդում են միմիայն գրավիտացիոն և առաձգականության ուժերով:

Իրականում ցանկացած համակարգում միշտ առկա են մարմինների շարժումը խոչընդոտող դիմադրության ուժեր, որոնք ոչ պոտենցիալային բնույթ ունեն, այսինքն՝ այդ ուժերի կատարած աշխատանքը փակ հետագծով զրոյից տարբեր (բացասական) մեծություն է և կախված է հետագծի ձևից: Այս ուժերի գործողության հետևանքով համակարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան ժամանակի ընթացքում նվազում է և հավասարվում զրոյի: Այսպես, հորիզոնական հարթությամբ v_0 սկզբնական արագությամբ, հետևաբար՝ $mv_0^2/2$ կինետիկ էներգիայով շարժվող մարմինն ի վերջո կանգ է առնում՝ $v = 0$, մարմնի վրա հարթության կողմից ազդող շփման ուժերի ազդեցությամբ: Թելից կախված ծանրոցի տատանումների լայնույթը ժամանակի ընթացքում փոքրանում է և դառնում հավասար զրոյի, քանի որ ճոճանակի լրիվ մեխանիկական էներգիան ծախսվում է օդի դիմադրության ուժի և ճոճանակի կախման կետում շփման ուժի հաղթահարման աշխատանք կատարելու վրա:

Որոշակի բարձրությունից ընկնող (հետևաբար՝ պոտենցիալ էներգիայով օժտված) մարմինը, բախվելով գետնին, կանգ է առնում:

Բերված բոլոր օրինակներում մարմնի (կամ մարմինների) լրիվ մեխանիկական էներգիան ժամանակի ընթացքում դառնում է հավասար զրոյի, և, կարծես, մարմնի

Մայեր Ռոբերտ Յուլիուս (1814-1878)

Գերմանացի բժիշկ, էներգիայի պահպանման օրենքի առաջին հայտնագործողներից: Փորձնական ճանապարհով հանգել է մեխանիկական էներգիայի և ջերմաքանակի՝ միմյանց փոխակերպվելու գաղափարին և տեսականորեն հաշվել ջերմության մեխանիկական համարժեքը:



մեխանիկական վիճակի՝ արագության և դիրքի փոփոխությունը չի ուղեկցվում այլ երևույթներով: Սակայն, ինչպես ցույց են տվել բազմաթիվ դիտարկումներն ու փորձնական փաստերը, մեխանիկական վիճակի փոփոխություններն ուղեկցվում են այլ, ոչ մեխանիկական բնույթի երևույթներով: Այսպես, բերված օրինակներում կարելի է փորձով համոզվել, որ և՛ հարթությամբ շարժվող մարմինը, և՛ հարթությունը, և՛ ճոճանակի գնդիկը, և՛ թելը, և՛ ընկնող գնդիկը, և՛ գետինը տաքացել են: Նշանակում է՝ մեխանիկական էներգիան երբեք անհետ չի կորչում, այն փոխակերպվում է էներգիայի այլ տեսակների (բերված օրինակներում՝ մարմինների ներքին էներգիայի):

Այս փորձերից հետևում է, որ մարմնի ներքին էներգիան կարելի է մեծացնել, այսինքն՝ մարմինը կարելի է տաքացնել նաև առանց նրան ջերմաքանակ հաղորդելու, միմիայն աշխատանք կատարելու շնորհիվ: Այսպիսով՝ ***մարմնի ջերմաստիճանը միևնույն չափով կարելի է փոփոխել ինչպես նրան որոշակի ջերմաքանակ հաղորդելու, այնպես էլ աշխատանք կատարելու միջոցով***:

Ջ.Պ. Ջոուլի փորձերը ճշգրտորեն ապացուցեցին այս պնդումը և թույլ տվեցին գտնել կատարած աշխատանքի և դրան համարժեք ջերմաքանակի միջև կապը:

Կատարված փորձերի արդյունքներն ընդհանրացվեցին և ձևակերպվեցին որպես էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենք. ***բնության մեջ էներգիան չի առաջանում ոչնչից և չի անհետանում. էներգիայի քանակն անփոփոխ է, այն միայն մի ձևից անցնում է մյուսին:***

Ի տարբերություն մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքի, որը հետևում է Նյուտոնի օրենքներից, էներգիայի պահպանման համընդհանուր օրենքը, որը հաշվի է առնում էներգիայի գոյության բոլոր ձևերը, ստացվել է փորձնական ճանապարհով: Այն հայտնաբերվել է Ռ. Մայերի և Ջ. Ջոուլի կողմից ու իր ավարտուն ձևակերպումն է ստացել Հ. Հելմհոլցի աշխատանքներում:

Ջերմադինամիկայի I օրենքն էներգիայի պահպանման և փոխակերպման ընդհանուր օրենքի տարածումն է ջերմային երևույթների վրա:

Համաձայն (15.1) սահմանման՝ համակարգի լրիվ էներգիան՝ $E_{լրիվ} = U + E$, ուստի, երբ համակարգը 1-ին (սկզբնական) վիճակից անցնում է 2-րդ (վերջնական) վիճակին, նրա փոփոխությունը հավասար է արտաքին ուժերի կատարած A աշխատանքի և համակարգին տրված Q ջերմաքանակի գումարին.

$$\Delta E_{լրիվ} = \Delta U + \Delta E = A + Q \quad : \qquad (15.24)$$

Հաճախ ջերմային երևույթներում մեխանիկական էներգիայի փոփոխությունը ներքին էներգիայի փոփոխության նկատմամբ կարելի է հաշվի չառնել: Այսպես, ջերմադինամիկական համակարգը կարելի է ընդունել անշարժ՝ բացառելով համակարգի, որպես ամբողջության, շարժման կինետիկ էներգիան: Ջերմաստիճանի փոփոխության հետևան-



Ջոուլ Ջեյմս Պրեսկոտ (1818–1889)

Անգլիացի ֆիզիկոս, էներգիայի պահպանման օրենքի առաջին հայտնագործողներից: Աշխատանքները վերաբերում են էլեկտրամագնիսականությանը, ջերմությանը և գազերի կինետիկ տեսությանը: Որոշել է հաղորդչում անջատված ջերմաքանակի կախումը հոսանքի ուժից և հաղորդչի դիմադրությունից (Ջոուլ-Լենցի օրենք): Փորձով որոշել է ջերմության մեխանիկական համարժեքը:

քով համակարգի ծավալի, հետևաբար՝ նաև ծանրության կենտրոնի դիրքի փոփոխությունը չափազանց փոքր է, ուստի չնչին է նաև համակարգի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությունը: Այսպիսով՝ կարելի է համարել, որ ջերմադինամիկական համակարգում ընթացող պրոցեսներում նրա մեխանիկական էներգիան մնում է անփոփոխ, այսինքն՝ $\Delta E = \Delta E_կ + \Delta E_պ = 0$: Այս դեպքում, համաձայն (15.24) առնչության՝

$$\boxed{\Delta U = A + Q}\,, \tag{15.25}$$

որն էլ հենց ջերմադինամիկայի առաջին օրենքն է՝ ***համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխությունը մի վիճակից մյուսին անցնելիս հավասար է արտաքին ուժերի կողմից համակարգի վրա կատարած աշխատանքի և համակարգին տրված ջերմաքանակի գումարին:***

Հարկ է նշել, որ (15.25) հավասարումից որոշվում է ներքին էներգիայի փոփոխությունը, ուստի ներքին էներգիան որոշվում է հաստատուն գումարելու ճշտությամբ:

Համաձայն (15.7) հավասարման՝ արտաքին մարմինների կողմից համակարգի վրա կատարած աշխատանքը հավասար է համակարգի կողմից այդ մարմինների վրա կատարած աշխատանքին՝ հակառակ նշանով՝ $A = -A'$, ուստի (15.25) հավասարումը կարելի է ներկայացնել նաև

$$\boxed{Q = \Delta U + A'} \tag{15.26}$$

տեսքով, որի համաձայն ***համակարգին տրված ջերմաքանակը ծախսվում է նրա ներքին էներգիայի փոփոխության և արտաքին մարմինների վրա աշխատանք կատարելու համար***:

Եթե ջերմադինամիկական համակարգը դրսից ջերմաքանակ չի ստանում՝ $Q = 0$, ապա այն անվանում են ջերմամեկուսացված: Համաձայն (15.26) բանաձևի՝ ջերմամեկուսացված համակարգն արտաքին մարմինների վրա աշխատանք կարող է կատարել միմիայն իր ներքին էներգիայի հաշվին՝

$$\boxed{A' = -\Delta U}\,: \tag{15.27}$$

Եթե $A' > 0$, ապա $\Delta U < 0$ և $U_2 < U_1$, այսինքն՝ համակարգի ներքին էներգիան նվազում է կատարած աշխատանքի չափով: Քանի որ յանկացած ջերմադինամիկական համակարգ ունի վերջավոր (սահմանափակ) ներքին էներգիա, ապա աշխատանք կատարելու պրոցեսում այն ի վերջո կսպառվի, և համակարգն այլևս աշխատանք կատարել չի կարող: Այս արդյունքը հաճախ ձևակերպվում է որպես դրույթ ***առաջին սեռի հավերժական շարժիչ*** ստեղծելու անհնարինության մասին. ***հնարավոր չէ ստեղծել մեքենա (շարժիչ), որն անընդհատ աշխատանք կատարի առանց էներգիա ստանալու:***



Հելմհոլց Հերման (1821-1894)

Գերմանացի բնագետ: Ֆիզիկական հետազոտությունները վերաբերում են էլեկտրադինամիկային, օպտիկային, ջերմությանը, հիդրոդինամիկային, ձայնագիտությանը: Ձևակերպել և մաթեմատիկորեն հիմնավորել է էներգիայի պահպանման օրենքը՝ նշելով նրա համընդհանուր բնույթը: Կարևոր արդյունքներ է ստացել նաև ֆիզիոլոգիական ձայնագիտության և տեսողության ֆիզիոլոգիայի բնագավառներում:

Եթե ջերմադինամիկական համակարգի վրա արտաքին ուժեր չեն ազդում, և համակարգը դրսից ջերմաքանակ չի ստանում, ապա այն կոչվում է մեկուսացված: Համաձայն ջերմադինամիկայի I օրենքի՝ այս դեպքում $\Delta U = 0$ կամ $U_2 = U_1$, այսինքն՝ մեկուսացված ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան պահպանվում է:

Մեկ անգամ ևս նշենք հետևյալ կարևոր հանգամանքը: Համակարգի ներքին էներգիան որոշվում է նրա վիճակը բնութագրող ջերմադինամիկական մեծություններով, ուստի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը կախված է միայն համակարգի սկզբնական (1) և վերջնական (2) վիճակներից և կախված չէ միջանկյալ վիճակներից, այլ կերպ ասած՝ $1 \to 2$ անցման պրոցեսից: Ի տարբերություն ներքին էներգիայի՝ A աշխատանքը և Q ջերմաքանակը կախված են $1 \to 2$ անցման պրոցեսից: Եթե չկա պրոցես՝ անցում մի վիճակից մյուսին, ապա և՛ աշխատանքը, և՛ ջերմաքանակը հավասար են զրոյի, իսկ ներքին էներգիան ունի տված վիճակին համապատասխանող որոշակի արժեք: Այս տեսանկյունից ճիշտ չէ խոսել որևէ վիճակում աշխատանքի կամ ջերմաքանակի, կամ դրանց փոփոխության մասին՝ մի վիճակից մյուսին անցնելիս: Փոփոխվել կարող է այն, ինչը գոյություն ունի տվյալ վիճակում (օրինակ՝ U-ն), իսկ աշխատանքն առաջանում (կատարվում) է համակարգի վրա արտաքին մարմինների ազդեցության հետևանքով: Հանգունորեն, ջերմաքանակը մարմինների միջև ջերմափոխանակության արդյունք է:

Ջերմադինամիկայի I օրենքի (15.25) բանաձևից հետևում է, որ համակարգի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը համակարգին տրված Q ջերմաքանակից կարող է լինել ինչպես մեծ, այնպես էլ փոքր՝ կախված այն բանից, թե ջերմահաղորդման պրոցեսում համակարգի վրա աշխատանք է կատարվել ($A > 0$), թե համակարգն ինքն է աշխատանք կատարել ($A' > 0$, այսինքն՝ $A < 0$):

Եթե համակարգն աշխատանք չի կատարում՝ $A' = 0$, ապա $\Delta U = Q$, այսինքն՝ ***ջերմաքանակը համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխությունն է ջերմահաղորդման պրոցեսում***:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր համակարգն է կոչվում ջերմամեկուսացված:*
2. *Ձևակերպե՛ք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը:*
3. *Գրե՛ք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքն արտահայտող բանաձևը:*
4. *Ո՞ր սարքն են անվանում առաջին սեռի հավերժական շարժիչ:*
5. *Ինչու՞ հնարավոր չէ ստեղծել առաջին սեռի հավերժական շարժիչ:*
6. *Գրե՛ք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը ջերմամեկուսացված համակարգի համար:*
7. *Կախվա՞ծ է արդյոք մարմնի տված կամ ստացած ջերմաքանակը ջերմադինամիկական պրոցեսի ձևից:*

§ 75. Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի կիրառումը տարբեր պրոցեսների նկատմամբ

Ջերմադինամիկայի I օրենքի օգնությամբ ուսումնասիրենք համակարգում ընթացող տարբեր պրոցեսներ:

Ջերմադինամիկական պրոցեսում կարող են միաժամանակ փոփոխվել բոլոր մակրոսկոպական պարամետրերը: Ստորև կդիտարկենք այնպիսի պրոցեսներ, որոնցում ջերմադինամիկական պարամետրերից մեկը մնում է հաստատուն (իզոպրոցեսներ):

Իզոխոր պրոցես: Իզոխոր պրոցեսում համակարգի ծավալը չի փոփոխվում՝ $V = const$ և $\Delta V = 0$, ուստի համակարգի կատարած աշխատանքը՝ $A' = p\Delta V = 0$: Այս դեպքում ջերմադինամիկայի I օրենքից կստանանք՝

$$\Delta U = Q : \qquad (15.28)$$

Եթե համակարգը ստանում է ջերմաքանակ՝ $Q > 0$, ապա նրա ներքին էներգիան մեծանում է ստացված ջերմաքանակի չափով, իսկ եթե համակարգը շրջապատին (այլ մարմինների) տալիս է ջերմաքանակ՝ $Q < 0$, ապա նրա ներքին էներգիան տրված ջերմաքանակի չափով փոքրանում է:

Օգտվելով մարմնի (համակարգի) ջերմունակության (15.11) և ջերմաքանակի (15.10) բանաձևերից՝ կստանանք՝

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta T}, \qquad (15.29)$$

որտեղ ΔT-ն համակարգի ջերմաստիճանի փոփոխությունն է ջերմահաղորդման պրոցեսում: Քանի որ իզոխոր պրոցեսում $Q = \Delta U$, ապա (15.29) արտահայտությունից կստանանք՝

$$C_V = \frac{\Delta U}{\Delta T}, \qquad (15.30)$$

որտեղ C_V-ով նշանակված է համակարգի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում:

Եթե համակարգը միատոմ իդեալական գազ է, ապա, օգտվելով նրա ներքին էներգիայի (15.3) բանաձևից, ջերմունակության համար կստանանք՝

$$C_V = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R = \frac{3}{2}\nu R, \qquad (15.31)$$

որտեղ ν-ն նյութի քանակն է: Մասնավորապես, մեկ մոլ իդեալական գազի ջերմունակությունն իզոխոր պրոցեսում՝ $C_{V\mu} = 3R/2$:

Իզոթերմ պրոցես: Իզոթերմ պրոցեսում հաստատուն է մնում համակարգի ջերմաստիճանը՝ $T = const$ և $\Delta T = 0$: Ծավալի փոփոխման ժամանակ համակարգն աշխատանք է կատարում: Այս պրոցեսում կարող է փոփոխվել նաև համակարգի ներքին էներգիան, քանի որ նրանում ներդրում է տալիս նաև մասնիկների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան:

Եթե համակարգն իդեալական գազ է, ապա նրա ներքին էներգիան կախված է միայն ջերմաստիճանից, ուստի իզոթերմ պրոցեսում այն մնում է հաստատուն՝ $U = const$ և

$\Delta U = 0$: Համաձայն ջերմադինամիկայի I օրենքի՝ այս դեպքում

$$Q = -A = A' : \qquad (15.32)$$

Եթե գազը ստանում է ջերմաքանակ, ապա դրա հաշվին այն կատարում է դրական աշխատանք՝ $A' > 0$, իսկ եթե գազը շրջապատին ջերմաքանակ է տալիս՝ $Q < 0$, ապա այն բացասական աշխատանք է կատարում (այս դեպքում դրական է արտաքին ուժերի կատարած $A = -A'$ աշխատանքը):

Ջերմունակության (15.29) սահմանումից հետևում է, որ տրված Q ջերմաքանակի հաշվին որքան փոքր է ջերմաստիճանի ΔT փոփոխությունը, այնքան մեծ է համակարգի C ջերմունակությունը: Մասնավորապես, եթե համակարգին $Q \neq 0$ ջերմաքանակ հաղորդելիս նրա ջերմաստիճանը չի փոփոխվում՝ $\Delta T = 0$, ապա նրան կարելի է վերագրել անվերջ մեծ ջերմունակություն: Այդպիսի ջերմունակությամբ օժտված համակարգը կատարում է ***թերմոստատի*** դեր, այսինքն՝ ապահովում է ջերմաստիճանի հաստատունությունը ջերմահաղորդման պրոցեսում:

Իզոբար պրոցես: Իզոբար պրոցեսում հաստատուն է մնում ճնշումը՝ $p = const$: Համակարգին տրված ջերմաքանակի հաշվին փոփոխվում են նրա ծավալն ու ջերմաստիճանը, ուստի զրոյից տարբեր կլինի և՛ ներքին էներգիայի ΔU փոփոխությունը, և՛ համակարգի կատարած A' աշխատանքը:

Այժմ ենթադրենք, որ համակարգն իդեալական գազ է, և, օգտվելով (14.30) հավասարումից, հաշվենք իզոբար պրոցեսում գազի կատարած A' աշխատանքը.

$$A' = p\Delta V = \nu R\Delta T : \qquad (15.33)$$

Այս առնչությունից կարելի է պարզել R գազային հաստատունի ֆիզիկական իմաստը. ***R-ը թվապես հավասար է այն աշխատանքին, որը կատարում է $\nu = 1$ մոլ իդեալական գազն իզոբար պրոցեսում, երբ նրա ջերմաստիճանը բարձրանում է 1 Կ-ով:***

Օգտվելով իդեալական գազի ներքին էներգիայի (15.3) արտահայտությունից՝ ջերմադինամիկայի I օրենքը կարելի է ներկայացնել

$$Q = \Delta U + A' = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T \qquad (15.34)$$

տեսքով, որի համաձայն գազը տաքացնելիս ($Q > 0$) նրա ներքին էներգիան մեծանում է, և միաժամանակ գազը կատարում է դրական աշխատանք: Եթե գազը սառչում է ($Q < 0$), ապա նրա ներքին էներգիան փոքրանում է, և միաժամանակ գազը կատարում է բացասական աշխատանք:

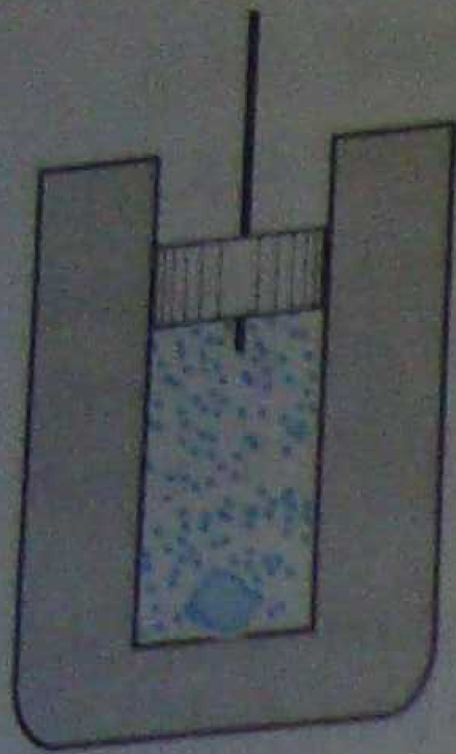
Ջերմունակության (15.29) սահմանումից և (15.34) առնչությունից ստանում ենք իզոբար պրոցեսում միատոմ իդեալական գազի C_p ջերմունակության արտահայտությունը՝

$$\boxed{C_p = \frac{Q}{\Delta T} = C_V + \nu R = \frac{5}{2}\nu R} : \qquad (15.35)$$

Մասնավորապես, $\nu = 1$ *մոլ* գազի համար՝

$$C_{p\mu} = C_{V\mu} + R : \qquad (15.36)$$

Այս առնչությունը ստացվել է Ռ. Մայերի կողմից և կրում է նրա անունը:



Նկ. 168

Ադիաբատ պրոցես: Ջերմամեկուսացված համակարգում ընթացող պրոցեսը կոչվում է ադիաբատ: Այս պրոցեսում համակարգն արտաքին մարմիններից չի ստանում կամ նրանց չի տալիս ջերմաքանակ՝ $Q = 0$, և համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխությունը հավասար է արտաքին ուժերի կատարած աշխատանքին՝

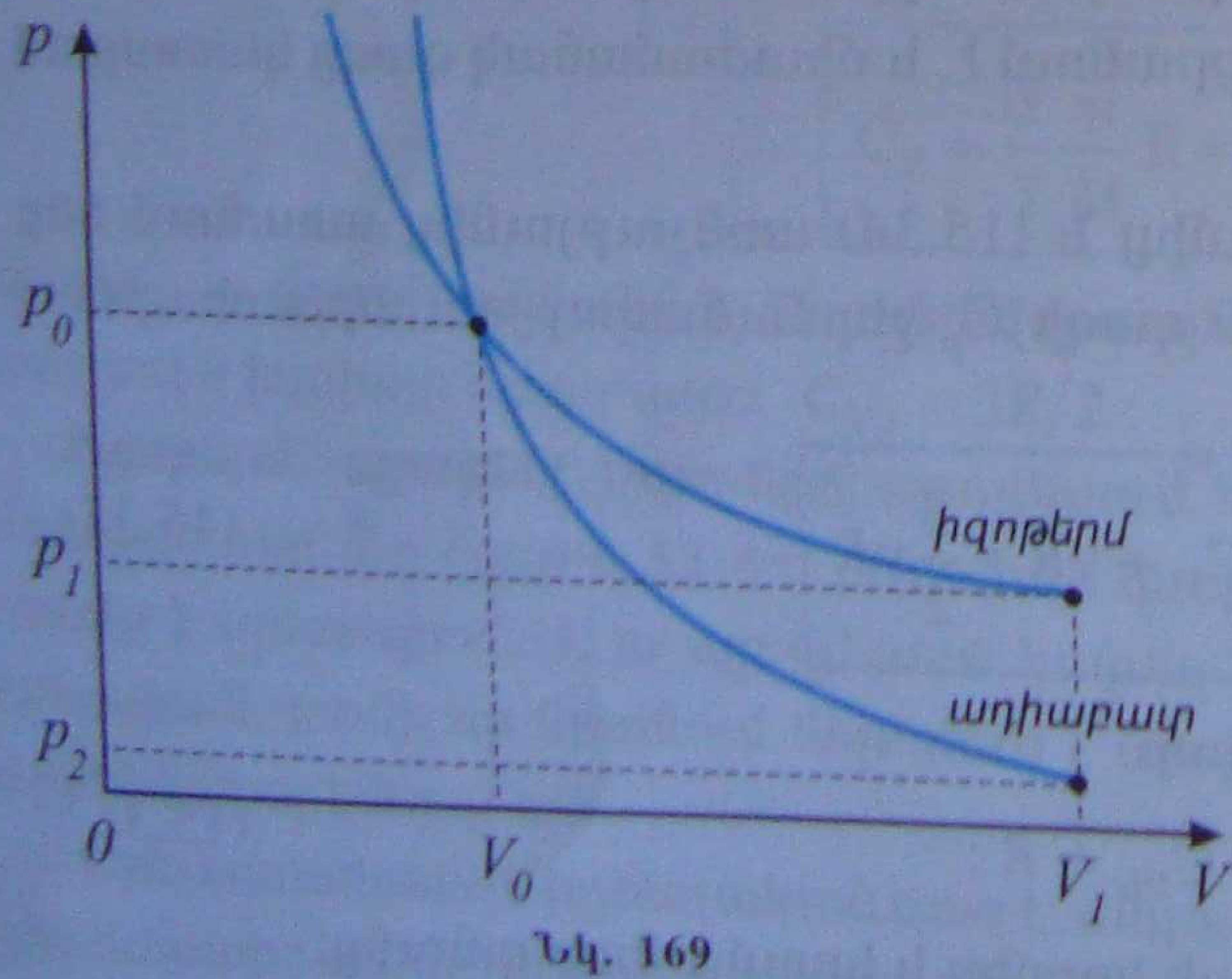
$$\Delta U = A : \tag{15.37}$$

Գործնականում հնարավոր չէ իրականացնել $Q = 0$ պայմանը, քանի որ բոլոր նյութերն էլ օժտված են ջերմահաղորդականությամբ: Սակայն եթե համակարգում ընթացող պրոցեսում ստացած (տրված) $|Q|$ ջերմաքանակը շատ փոքր է ներքին էներգիայի $|\Delta U|$ փոփոխությունից՝ $|Q| << |\Delta U|$, ապա այն կարելի է անտեսել $|\Delta U|$-ի նկատմամբ, և ջերմադինամիկայի I օրենքից կստանանք (15.37) առնչությունը: Սովորաբար $|Q| << |\Delta U|$ պայմանը հեշտ է իրականացնել համեմատաբար արագ ընթացող պրոցեսներում, երբ փոքր ժամանակամիջոցում համակարգը չի հասցնում շրջապատին տալ (կամ շրջապատից ստանալ) զգալի ջերմաքանակ:

Համաձայն (15.37) բանաձևի՝ եթե համակարգի վրա դրական աշխատանք է կատարվում, ապա նրա ներքին էներգիան մեծանում է, և համակարգի ջերմաստիճանը բարձրանում է: Դրանում կարելի է համոզվել փորձի օգնությամբ:

Թափանցիկ, հաստ պատերով և փոքր ջերմահաղորդականությամբ ապակյա պատրաստված գլանի մեջ դնենք եթերով թրջված բամբակ և գլանը կիպ փակող մխոցն արագ իջեցնենք՝ սեղմելով եթերի գոլորշիներով հագեցած օդը (նկ. 168): Կտեսնենք, որ եթերի գոլորշիները բռնկվում են, ինչը վկայում է գլանում օդի ջերմաստիճանի կտրուկ աճի մասին:

Ի տարբերություն իզոխոր, իզոթերմ և իզոբար պրոցեսների՝ ադիաբատ պրոցեսն ընթանում է p, V, T պարամետրերի փոփոխությամբ: Ընդամին, ծավալի միևնույն ΔV փոփոխությունն ադիաբատ պրոցեսում համապատասխանում է ճնշման ավելի մեծ փոփոխության, քան իզոթերմ պրոցեսում: Պատճառն այն է, որ ադիաբատ պրոցեսում ճնշման փոփոխությունը հետևանք է ոչ միայն ծավալի փոփոխության, ինչպես իզոթերմ պրոցեսում, այլև գազի ջերմաստիճանի փոփոխության: Նկ. 169-ում պատկերված են իզոթերմ և ադիաբատ պրոցեսների գրաֆիկները և այդ պրոցեսներում ծավալի միևնույն ΔV փոփոխության համար ճնշման $\Delta p_{ա}=p_0-p_2$ և $\Delta p_{իզ}=p_0-p_1$ փոփոխությունները:



Նկ. 169

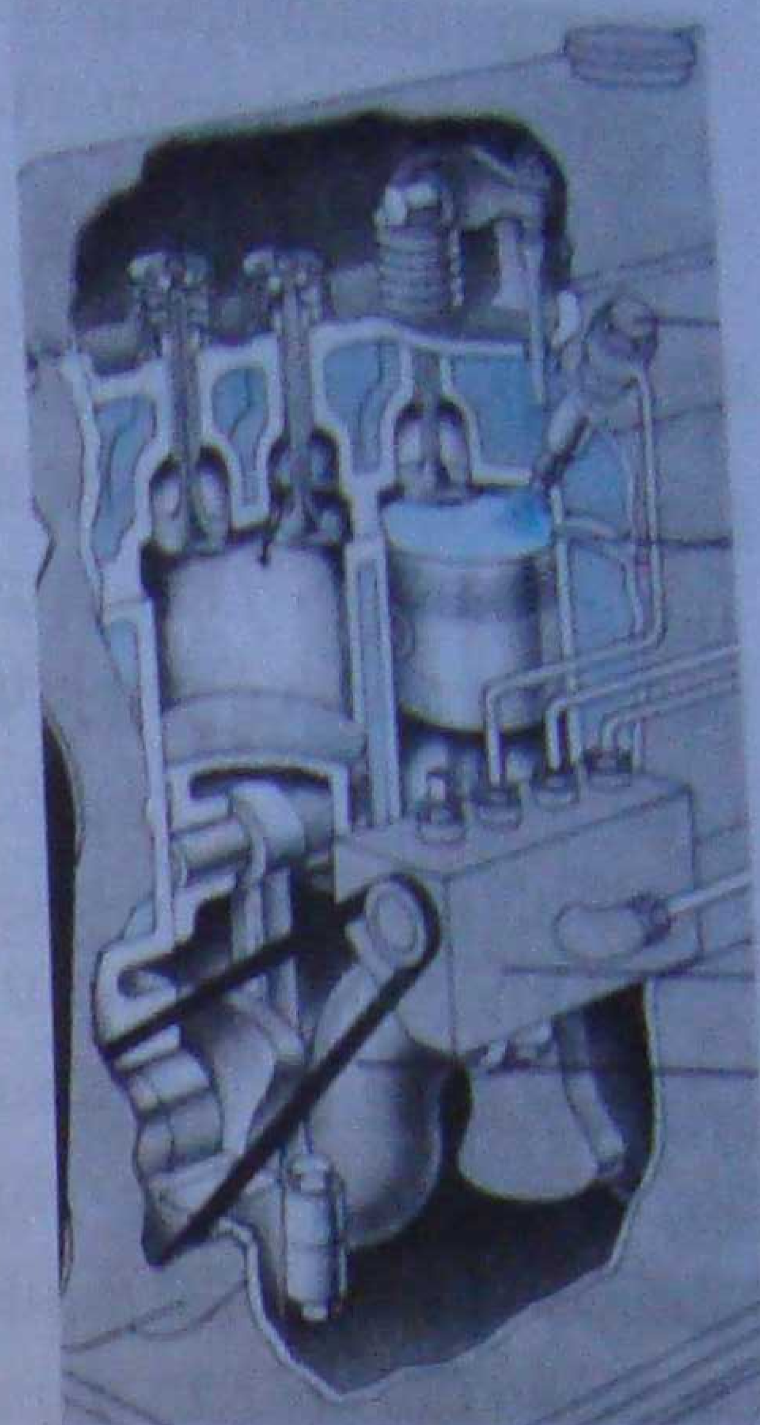
Օդի տաքացումն ադիաբատ (արագ) սեղմման պրոցեսում օգտագործվում է դիզելային շարժիչներում (նկ. 170): Շարժիչի գլան է ներքաշվում օդ, այլ ոչ թե վառելիքի և օդի խառնուրդ, ինչպես ոչ դիզելային (կարբյուրատորային) ներքին այրման շարժիչներում:

Գլանում արագ սեղմվելիս օդի ջերմաստիճանը բարձրանում է և

սեղմման վերջում այն գերազանցում է վառելիքի բոցավառման ջերմաստիճանը: Այդ պահին հատուկ բոցամուղի (ֆորսունկա) միջոցով գլան է ներսայտվում փոշիացված վառելիք (կերոսին, սոլյարայուղ), որը, շփվելով շիկացած օդին, բոցավառվում է:

Ադիաբատորեն են ընթանում նաև որոշ մթնոլորտային պրոցեսներ: Այսպես, երկրամերձ օդի տաք շերտերը, արագ բարձրանալով վեր, ընդարձակվում են վերին՝ ավելի նոսր և ցածր ճնշմամբ շերտերում և սառչում, որի հետևանքով նրանցում առկա ջրային գոլորշին խտանում և վերածվում է ջրի մանր կաթիլների կամ սառույցի բյուրեղիկների՝ առաջացնելով մառախուղ կամ ամպ:

Ադիաբատ պրոցեսի ուսումնասիրումն իզոպրոցեսների հետ պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ որոշակի պայմաններում այս պրոցեսում հաստատուն է մնում ջերմադինամիկական համակարգի մի կարևորագույն բնութագիր՝ *էնտրոպիան*:



Նկ. 170

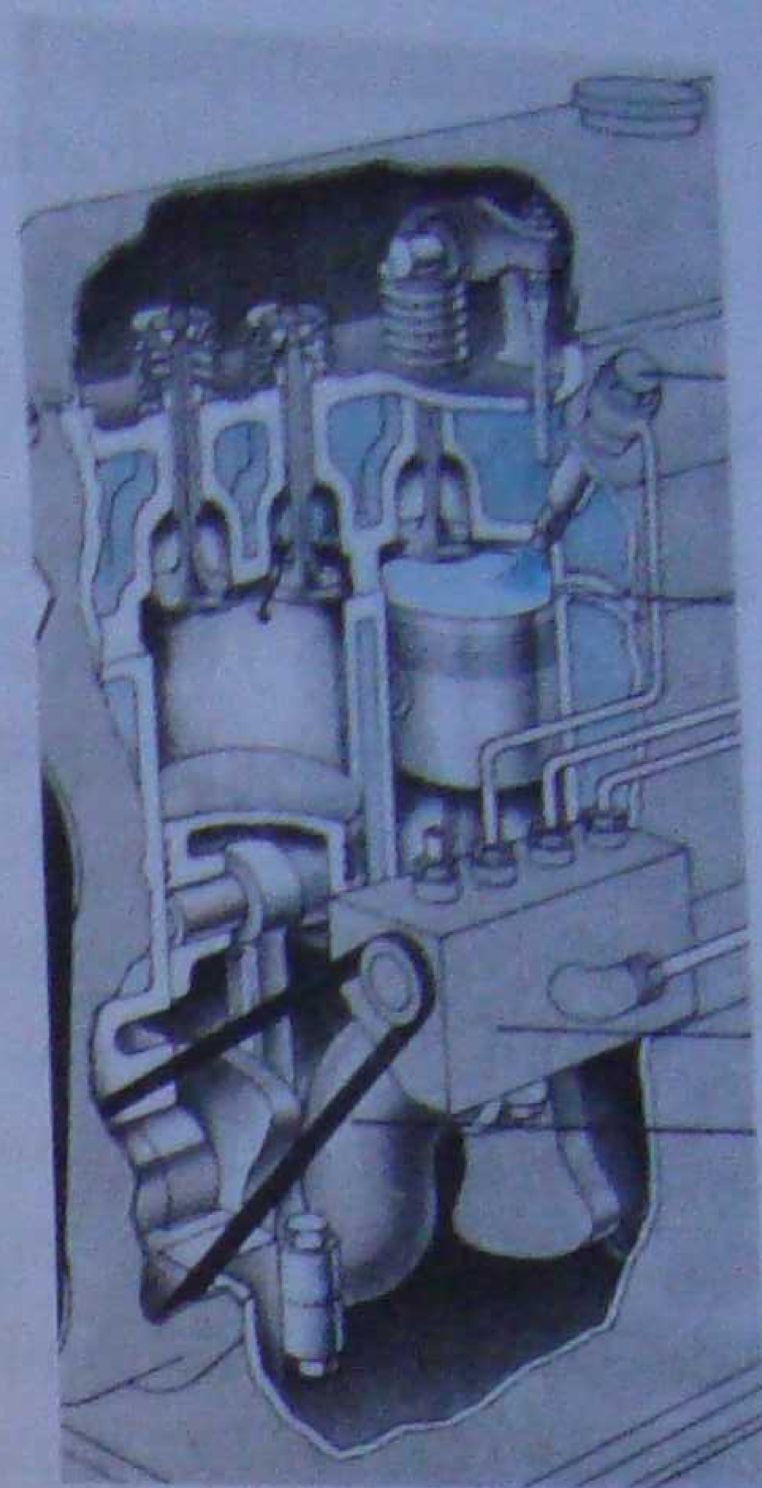
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի բանաձևն իզոխոր, իզոբար և իզոթերմ պրոցեսների համար:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում համակարգի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում:*
3. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում:*
4. *Ի՞նչ է թերմոստատը:*
5. *Ո՞րն է R ունիվերսալ գազային հաստատունի ֆիզիկական իմաստը:*
6. *Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում ադիաբատ:*
7. *Ինչու՞ է ադիաբատ սեղման ժամանակ իդեալական գազը տաքանում, իսկ ընդարձակվելիս՝ սառչում:*
8. *Ո՞ր պրոցեսում է համակարգին հաղորդված ջերմաքանակը հավասար նրա ներքին էներգիայի փոփոխությանը:*
9. *Ո՞ր դեպքում գազին միևնույն ջերմաքանակը հաղորդելիս ջերմաստիճանն ավելի շատ կաճի՝ իզոխո՞ր, թե՞ իզոբար պրոցեսում:*
10. *Ինչու՞ ադիաբատության պայմանը գործնականում հեշտ է իրականացնել արագ ընթացող պրոցեսներում:*

§ 76.* Ջերմային պրոցեսների անշրջելիությունը: Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը

Էներգիայի պահպանման օրենքը թույլ է տալիս նկարագրել ցանկացած պրոցես, որի ընթացքում տեղի է ունենում էներգիայի փոխակերպում մի տեսակից մյուսին: Սակայն այս օրենքը ոչինչ չի ասում այն մասին, թե էներգիայի ինչ փոխակերպումներ են հնարավոր, այսինքն՝ ինչ պրոցեսներ և ինչ ուղղությամբ կարող են ընթանալ բնության մեջ: Ջերմադինամիկայի I օրենքի տեսանկյունից, ցանկացած պրոցես սկզբունքորեն հնարավոր է, եթե այդ պրոցեսում էներգիայի քանակը մնում է անփոփոխ: Սակայն, ինչպես ցույց է տալիս փորձը, շատ պրոցեսներ, որոնց ընթացքն ամենևին չի հակասում

սեղմման վերջում այն գերազանցում է վառելիքի բոցավառման ջերմաստիճանը: Այդ պահին հատուկ բոցամուղի (ֆորսունկա) միջոցով գլան է ներսրսկվում փոշիացված վառելիք (կերոսին, սոլյարայուղ), որը, շփվելով շիկացած օդին, բոցավառվում է:



Նկ. 170

Ադիաբատորեն են ընթանում նաև որոշ մթնոլորտային պրոցեսներ: Այսպես, երկրամերձ օդի տաք շերտերը, արագ բարձրանալով վեր, ընդարձակվում են վերին՝ ավելի նոսր և ցածր ճնշմամբ շերտերում և սառչում, որի հետևանքով նրանցում առկա ջրային գոլորշին խտանում և վերածվում է ջրի մանր կաթիլների կամ սառցի բյուրեղիկների՝ առաջացնելով մառախուղ կամ ամպ:

Ադիաբատ պրոցեսի ուսումնասիրումն իզոպրոցեսների հետ պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ որոշակի պայմաններում այս պրոցեսում հաստատուն է մնում ջերմադինամիկական համակարգի մի կարևորագույն բնութագիր՝ *էնտրոպիան*:

Հարցեր և առաջադրանքներ

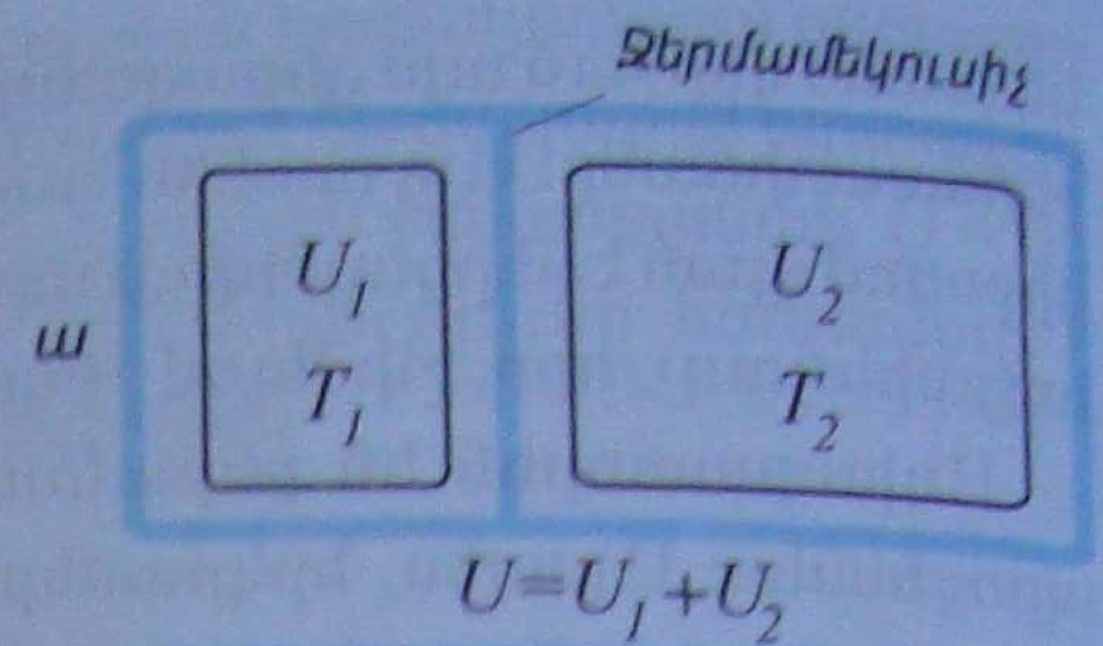
1. *Գրե՛ք ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի բանաձևն իզոխոր, իզոբար և իզոթերմ պրոցեսների համար:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում համակարգի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում:*
3. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում:*
4. *Ի՞նչ է թերմոստատը:*
5. *Ո՞րն է **R** ունիվերսալ գազային հաստատունի ֆիզիկական իմաստը:*
6. *Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում ադիաբատ:*
7. *Ինչու՞ է ադիաբատ սեղման ժամանակ իդեալական գազը տաքանում, իսկ ընդարձակվելիս՝ սառչում:*
8. *Ո՞ր պրոցեսում է համակարգին հաղորդված ջերմաքանակը հավասար նրա ներքին էներգիայի փոփոխությանը:*
9. *Ո՞ր դեպքում գազին միևնույն ջերմաքանակը հաղորդելիս ջերմաստիճանն ավելի շատ կաճի՝ իզոխո՞ր, թե՞ իզոբար պրոցեսում:*
10. *Ինչու՞ ադիաբատության պայմանը գործնականում հեշտ է իրականացնել արագ ընթացող պրոցեսներում:*

§ 76.* Ջերմային պրոցեսների անշրջելիությունը: Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը

Էներգիայի պահպանման օրենքը թույլ է տալիս նկարագրել ցանկացած պրոցես, որի ընթացքում տեղի է ունենում էներգիայի փոխակերպում մի տեսակից մյուսին: Սակայն այս օրենքը ոչինչ չի ասում այն մասին, թե էներգիայի ինչ փոխակերպումներ են հնարավոր, այսինքն՝ ինչ պրոցեսներ և ինչ ուղղությամբ կարող են ընթանալ բնության մեջ: Ջերմադինամիկայի I օրենքի տեսանկյունից, ցանկացած պրոցես սկզբունքորեն հնարավոր է, եթե այդ պրոցեսում էներգիայի քանակը մնում է անփոփոխ: Սակայն, ինչպես ցույց է տալիս փորձը, շատ պրոցեսներ, որոնց ընթանալն ամենևին չի հակասում

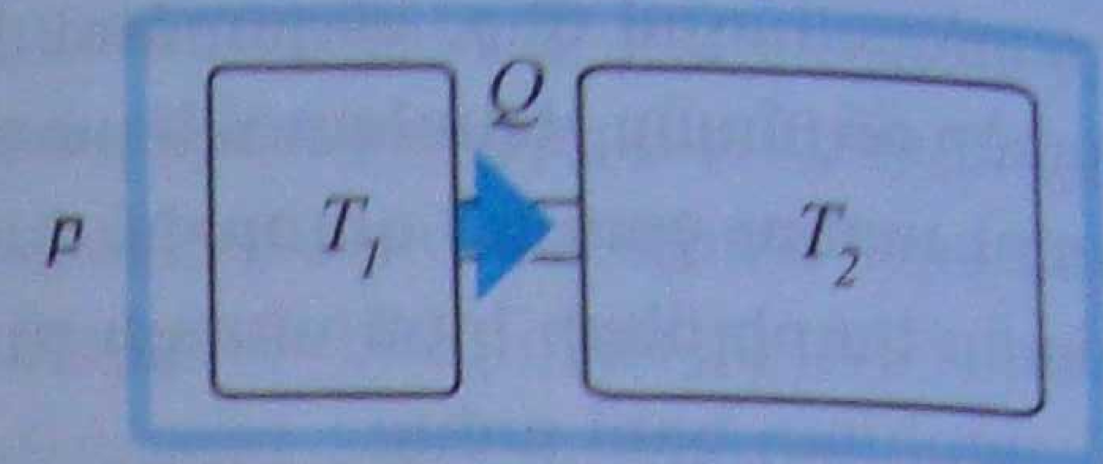
ջերմադինամիկայի I օրենքին, այնուամենայնիվ բնության մեջ երբեք տեղի չեն ունենում: Դիտարկենք օրինակներ:

1. Ինչպես գիտենք, տարբեր մարմինների միջև ջերմափոխանակման արդյունքում տաք մարմինը սառչում է, իսկ սառը մարմինը՝ տաքանում, այսինքն՝ տաք մարմնի U_1 ներքին էներգիայի մի մասը Q ջերմաքանակի ձևով ինքնակամորեն տրվում է սառը մարմնին (նկ. 171,ա,բ): Համակարգը գալիս է ջերմային հավասարակշռության վիճակի, որում մարմինների ջերմաստիճանները իրար հավասար են (նկ. 171,գ): Ջերմադինամիկայի I օրենքը չէր խախտվի, եթե որոշակի Q' ջերմաքանակ ցածր ջերմաստիճանով մարմնից տրվեր բարձր ջերմաստիճանով մարմնին (նկ. 172,ա,բ,գ): Սակայն ամենօրյա փորձը ցույց է տալիս, որ ***էներգիայի ինքնակամ անցում ցածր ջերմաստիճանով մարմնից բարձր ջերմաստիճանով մարմնին երբեք տեղի չի ունենում***: Այսպիսով, ջերմաքանակն ինքնակամորեն կարող է հաղորդվել միայն մեկ ուղղությամբ՝ տաք մարմիններից սառը մարմիններին: Հակառակ ուղղությամբ պրոցեսը, այսինքն՝ սառը մարմնից որոշակի ջերմաքանակ տաք մարմնին հաղորդելը կարելի է իրականացնել միայն որոշակի աշխատանք կատարելով (ինչը տեղի է ունենում, օրինակ, սառնարանում):

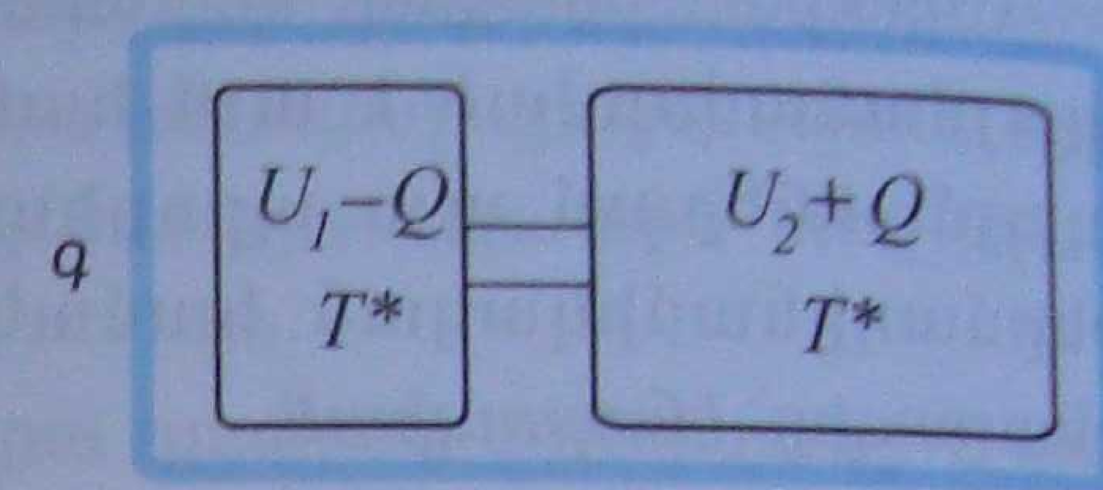


ա

$U=U_1+U_2$



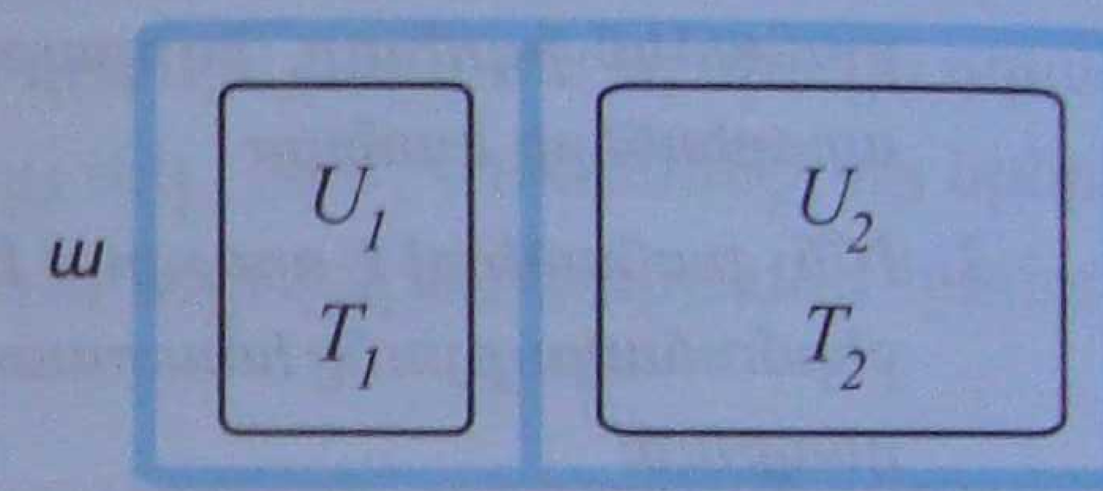
բ



գ

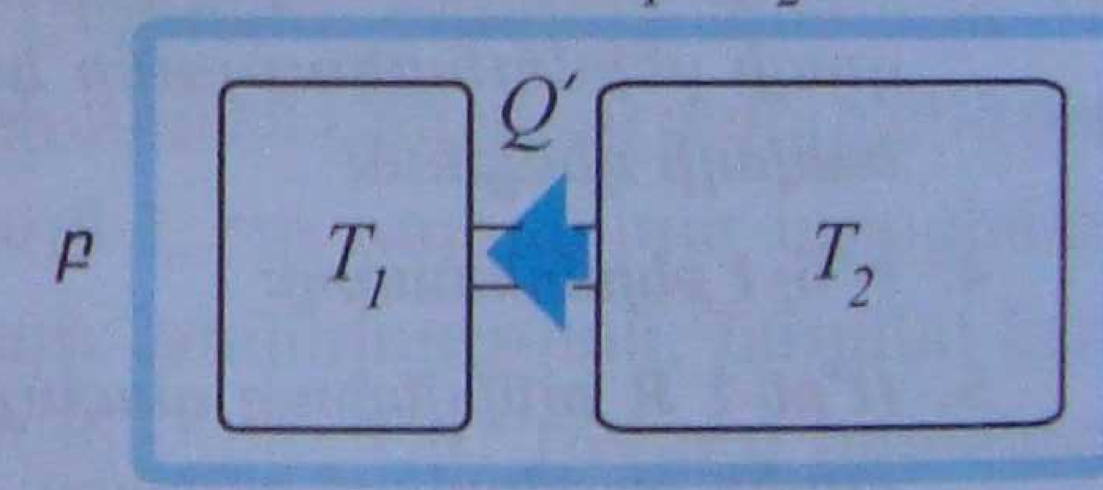
$U'=(U_1-Q)+(U_2+Q)=U$

Նկ. 171

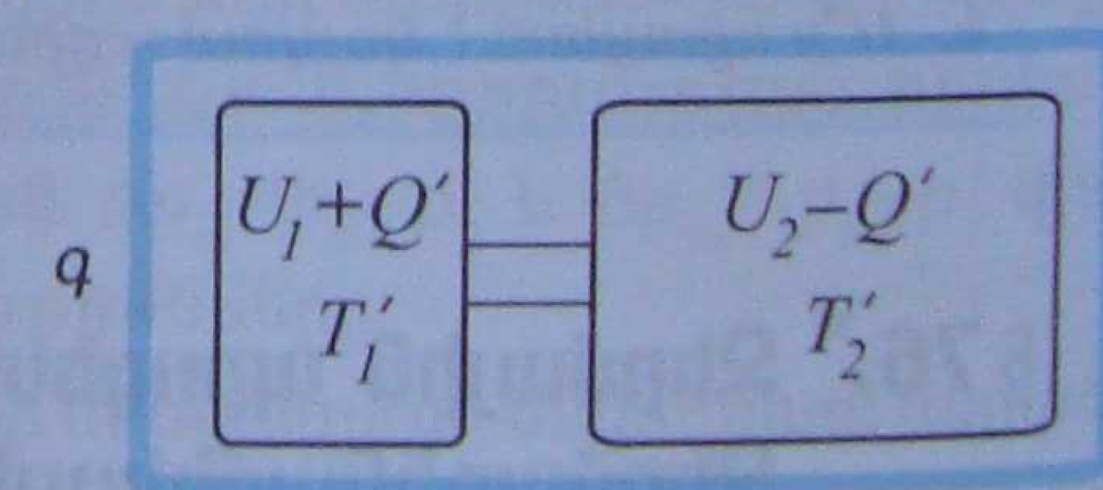


ա

$U=U_1+U_2$



բ



գ

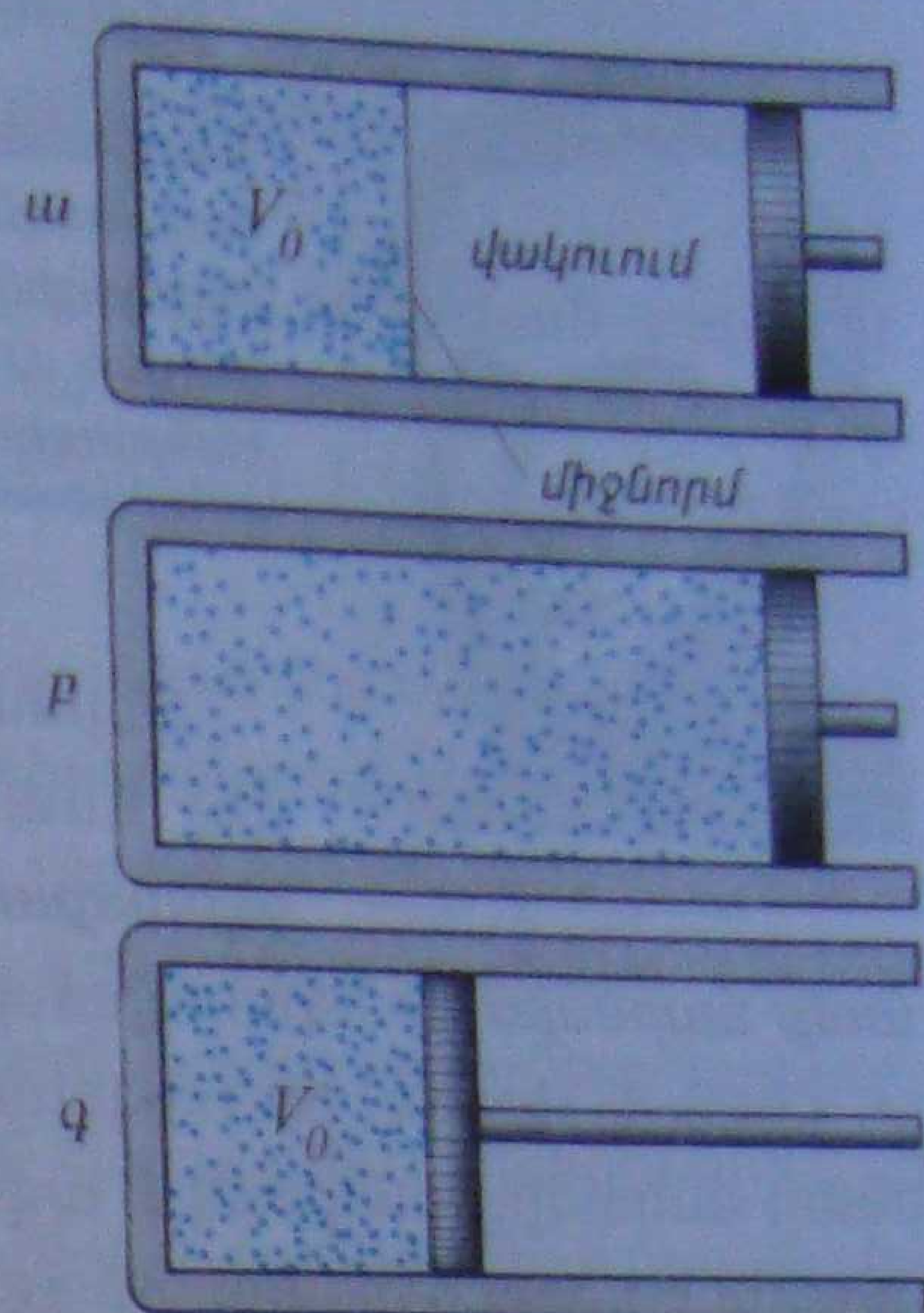
$U'=(U_1+Q')+(U_2-Q')=U$

Նկ. 172

2. Մեկ ուղղությամբ ընթացող պրոցեսի օրինակ է գազի ընդարձակումը վակուումում, այսինքն՝ երբ սկզբնական V_0 ծավալով գազը (նկ. 173,ա) միջնորմը հեռացնելուց հետո զբաղեցնում է անոթի ամբողջ ծավալը (նկ. 173,բ): Ինքնակամորեն գազը երբեք չի հավաքվի անոթի ծավալի մի մասում. այն սկզբնական V_0 ծավալում սահմանափակելու համար անհրաժեշտ է կատարել որոշակի աշխատանք (նկ. 173,գ):

3. Երբ մարմինն ընկնում է որոշակի h բարձրությունից, նրա պոտենցիալ էներգիան փոխակերպվում է կինետիկ էներգիայի (եթե անտեսենք օդի դիմադրությունը): Գետնին հարվածելիս այն կանգ է առնում, իսկ նրա կինետիկ էներգիան փոխակերպվում է մարմնի և գետնի ներքին էներգիաների, որոնց գումարը, համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, հավասար է մարմնի՝ h բարձրության վրա ունեցած պոտենցիալ էներգիային: Էներգիայի պահպանման օրենքը տեղի կունենար նաև այն դեպքում, երբ մարմինն իր և գետնի ներքին էներգիայի հաշվին բարձրանար մինչև h բարձրություն: Սակայն փորձում նման ինքնակամ «ցատկերի» երբեք չենք հանդիպում:

4. Հավասարակշռության դիրքից շեղված (հետևաբար` պոտենցիալ էներգիայով օժտված) ճոճանակի տատանումները կատարվում են ժամանակի ընթացքում անընդհատ փոքրացող լայնույթով` մինչև ճոճանակի կանգ առնելը, երբ նրա լրիվ մեխանիկական էներգիան հավասարվում է զրոյի: Նուրբ չափումներով կարելի է համոզվել, որ ճոճանակի կախման կետի, թելի և գնդիկի ջերմաստիճանները բարձրացել են: Տատանման պրոցեսում ճոճանակի մեխանիկական էներգիան փոխակերպվում է ճոճանակի գնդիկի, թելի, կախման կետի, ինչպես նաև շրջապատող օդի ներքին էներգիայի: Սակայն երբեք նկատված չէ, որ հավասարակշռության վիճակում գտնվող ճոճանակն իր ներքին էներգիայի հաշվին կինետիկ էներգիա հաղորդի գնդիկին, որը սկսի տատանվել որոշակի (անգամ` նվազող) լայնույթով:



Նկ. 173

Բերված օրինակները, ինչպես նաև բազմաթիվ այլ պրոցեսների ուսումնասիրությունները փաստում են, որ ***ջերմադինամիկայի I օրենքը ոչ մի սահմանափակում չի դնում էներգիայի փոխակերպման ուղղության վրա` պահանջելով միայն նրա պահպանումը***: Սակայն փորձը ցույց է տալիս, որ մի տեսակից մյուսին փոխակերպվելու տեսանկյունից էներգիայի տեսակներն իրարից էապես տարբերվում են: Այսպես, մեխանիկական էներգիան ամբողջությամբ կարելի է փոխակերպել մարմինների ներքին էներգիայի` անկախ դրանց ջերմաստիճանից: Ընդ որում, մարմնի ներքին էներգիան մեծանում է կատարված աշխատանքի չափով: Մյուս կողմից, ներքին էներգիայի` այլ տեսակի էներգիաների փոխակերպման ճանապարհին կան որոշակի սահմանափակումներ, որոնք բացառում են ներքին էներգիայի լրիվ փոխակերպումն այլ տեսակների էներգիաների: Փոխակերպման նման յուրահատկություններով է պայմանավորված բնության մեջ ընթացող պրոցեսների միակողմանիությունը:

Վերը բերված բոլոր պրոցեսներն ունեն մեկ ընդհանուր հատկություն. դրանցում մարմնի կանոնավոր (ուղղորդված) շարժումը փոխակերպվում է մարմնի (և շրջապատի) մոլեկուլների անկանոն ջերմային շարժման: Դրանք կարող են ընթանալ միայն մեկ ուղղությամբ. այդ պրոցեսներն անշրջելի են: ***Պրոցեսը կոչվում է շրջելի, եթե հնարավոր է համակարգի վերադարձը սկզբնական վիճակին` առանց շրջապատում որևէ փոփոխության:*** Գործնականում բնության մեջ ընթացող բոլոր պրոցեսներն անշրջելի են շփման ուժերի գոյության և ջերմափոխանակության առկայության հետևանքով, ուստի «շրջելի պրոցես» հասկացությունը վերացարկում (աբստրակցիա) է, ինչպես, օրինակ` «իդեալական գազ», «նյութական կետ», «շարժում առանց շփման» և այլ հասկացություններ: Բնության մեջ ընթացող պրոցեսների անշրջելիության մասին դրույթը, որը ցույց է տալիս դրանց ընթանալու ուղղությունը և սահմանափակում է մակրոսկոպական համակարգերում էներգիայի հնարավոր փոխակերպումները, ջերմադինամիկայի II օրենքի ամենաընդհանուր արտահայտություններից մեկն է: Ինչպես և բնության մեջ ցանկացած հիմնարար օրենք, այն բազմաթիվ փորձնական փաստերի ընդհանրացման արդյունք է:



Կլաուզիուս Ռոբերտ (1822–1888)

Գերմանացի ֆիզիկոս, ջերմադինամիկայի և գազերի կինետիկ տեսության ստեղծողներից: Աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային, ջերմադինամիկային, շոգեմեքենաների տեսությանը, տեսական մեխանիկային: Ձևակերպել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը, ներմուծել էնտրոպիայի գաղափարը:

Ջերմադինամիկայի II օրենքի հետևյալ ձևակերպումն առավել հստակ է բացահայտում նրա ֆիզիկական իմաստը. ***ջերմաքանակն ինքնակամորեն չի կարող սառը մարմնից անցնել տաք մարմնին*** (Ռ.Կլաուզիուսի ձևակերպումը):

Հարկ է շեշտել, որ արգելվում են ոչ բոլոր պրոցեսները, որոնցում ջերմաքանակը սառը մարմնից անցնում է ավելի տաքին, այլ միայն նրանք, որոնցում այդ անցումը պրոցեսի *միակ* վերջնական արդյունքն է:

Ջերմադինամիկայի II օրենքը սահմանափակումներ է դնում ներքին էներգիայի՝ մեխանիկականի փոխարկվելու ճանապարհին: Այս օրենքից հետևում է, որ ***հնարավոր չէ պատրաստել մեքենա, որն աշխատանք կատարեր միայն շրջապատի մարմիններից առացված ջերմաքանակի հաշվին***: Այսպիսի ենթադրյալ մեքենան ստացել է «***երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ***» անվանումը, քանի որ այն կարող էր աշխատել ծովերի, օվկիանոսների, մթնոլորտի գործնականորեն անսահմանափակ էներգիայի հաշվին: Եթե հնարավոր լիներ օգտագործել, օրինակ, Սևանա լճի ջրի ներքին էներգիան, ապա ջրի ջերմաստիճանը $\Delta t = 1°C$-ով իջեցնելուց կստացվեր այնքան էներգիա, որքան արտադրում է Հայկական ատոմակայանը (որի հզորությունը 440 ՄՎտ է) 10 տարվա ընթացքում: Սակայն ջերմադինամիկայի II օրենքը բացառում է նման հնարավորության օգտագործումը: Այս պատճառով երբեմն II օրենքը ձևակերպվում է որպես դրույթ ***II սեռի հավերժական շարժիչ ստեղծելու անհնարինության մասին***: Ի տարբերություն I սեռի հավերժական շարժիչի՝ նրա գոյությունը չէր հակասի էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Բերեք անշրջելի պրոցեսների օրինակներ:*
2. *Ինչո՞վ է պայմանավորված բնության մեջ ընթացող պրոցեսների միակողմանիությունը:*
3. *Տվեք շրջելի պրոցեսի սահմանումը:*
4. *Տվեք ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի ձևակերպումներից մեկը:*
5. *Կարո՞ղ է արդյոք որոշակի ջերմաքանակ սառը մարմնից անցնել ավելի տաք մարմնին:*
6. *Ի՞նչ է երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչը և ինչո՞վ է այն տարբերվում առաջին սեռի հավերժական շարժիչից:*



Կլաուզիուս Ռոբերտ (1822–1888)

Գերմանացի ֆիզիկոս, ջերմադինամիկայի և գազերի կինետիկ տեսության առեղծողներից: Աշխատանքները վերաբերում են մոլեկուլային ֆիզիկային, ջերմադինամիկային, շոգեմեքենաների տեսությանը, տեսական մեխանիկային: Ձևակերպել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքը, ներմուծել էնտրոպիայի գաղափարը:

Ջերմադինամիկայի II օրենքի հետևյալ ձևակերպումն առավել հստակ է բացահայտում նրա ֆիզիկական իմաստը. ***ջերմաքանակն ինքնակամորեն չի կարող սառը մարմնից անցնել տաք մարմնին*** (Ռ. Կլաուզիուսի ձևակերպումը):

Հարկ է շեշտել, որ արգելվում են ոչ բոլոր պրոցեսները, որոնցում ջերմաքանակը սառը մարմնից անցնում է ավելի տաքին, այլ միայն նրանք, որոնցում այդ անցումը պրոցեսի *միակ* վերջնական արդյունքն է:

Ջերմադինամիկայի II օրենքը սահմանափակումներ է դնում ներքին էներգիայի՝ մեխանիկականի փոխարկվելու ճանապարհին: Այս օրենքից հետևում է, որ ***հնարավոր չէ պատրաստել մեքենա, որն աշխատանք կատարեր միայն շրջապատի մարմիններից ստացված ջերմաքանակի հաշվին***: Այսպիսի ենթադրյալ մեքենան ստացել է ***«երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ»*** անվանումը, քանի որ այն կարող էր աշխատել ծովերի, օվկիանոսների, մթնոլորտի գործնականորեն անսահմանափակ էներգիայի հաշվին: Եթե հնարավոր լիներ օգտագործել, օրինակ, Սևանա լճի ջրի ներքին էներգիան, ապա ջրի ջերմաստիճանը $\Delta t = 1°C$-ով իջեցնելուց կստացվեր այնքան էներգիա, որքան արտադրում է Հայկական ատոմակայանը (որի հզորությունը 440 ՄՎտ է) 10 տարվա ընթացքում: Սակայն ջերմադինամիկայի II օրենքը բացառում է նման հնարավորության օգտագործումը: Այս պատճառով երբեմն II օրենքը ձևակերպվում է որպես դրույթ ***II սեռի հավերժական շարժիչ ստեղծելու անհնարինության մասին***: Ի տարբերություն I սեռի հավերժական շարժիչի՝ նրա գոյությունը չէր հակասի էներգիայի պահպանման և փոխակերպման օրենքին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Բերե՛ք անշրջելի պրոցեսների օրինակներ:*
2. *Ինչո՞վ է պայմանավորված բնության մեջ ընթացող պրոցեսների միակողմանիությունը:*
3. *Տվե՛ք շրջելի պրոցեսի սահմանումը:*
4. *Տվե՛ք ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի ձևակերպումներից մեկը:*
5. *Կարո՞ղ է արդյոք որոշակի ջերմաքանակ սառը մարմնից անցնել ավելի տաք մարմնին:*
6. *Ի՞նչ է երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչը և ինչո՞վ է այն տարբերվում առաջին սեռի հավերժական շարժիչից:*

§ 77. Ջերմաշարժիչների գործողության սկզբունքը: Ջերմաշարժիչի օգտակար գործողության գործակից (ՕԳԳ)

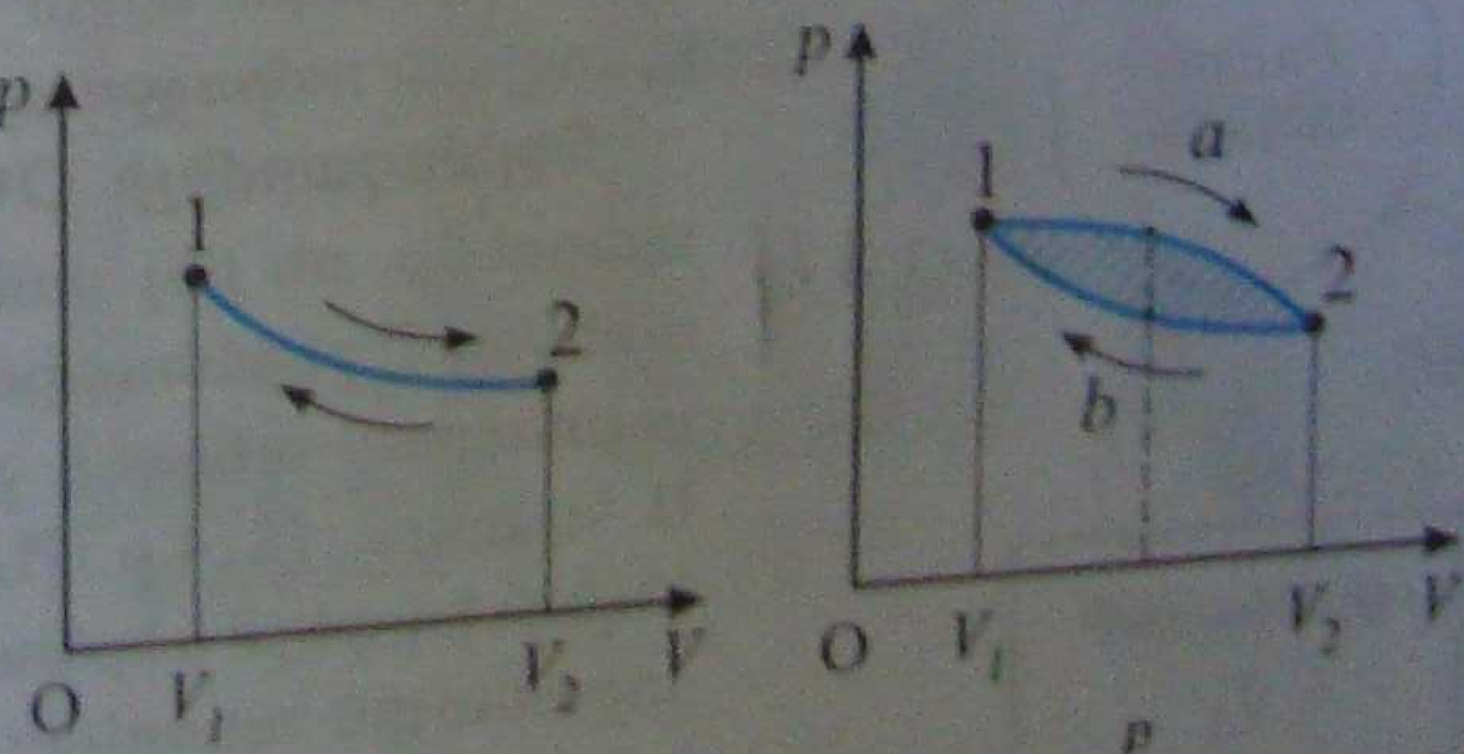
Ինչպես գիտենք, ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան կարելի է մեծացնել նրան ջերմաքանակ հաղորդելով կամ նրա վրա աշխատանք կատարելով: Մյուս կողմից, համակարգի ներքին էներգիայի հաշվին կարելի է կատարել մեխանիկական աշխատանք:

Տրանսպորտում, արդյունաբերության և գյուղատնտեսության մեջ տարբեր սարքերի և մեխանիզմների աշխատանքի համար անհրաժեշտ է մեխանիկական էներգիա, ուստի ներքին էներգիայի փոխակերպումը մեխանիկականի չափազանց կարևոր նշանակություն ունի մարդկային հասարակության պրակտիկ գործունեության մեջ: Նշված փոխակերպումն իրականացնում են ջերմամեքենաները կամ ջերմաշարժիչները՝ սարքեր, որոնք վառելիքի (կամ էներգիայի այլ աղբյուրի) ներքին էներգիան փոխակերպում են մեխանիկական էներգիայի: Այլ կերպ ասած՝ ջերմաշարժիչում մոլեկուլների քաոսային շարժման էներգիան փոխակերպվում է կարգավորված շարժման էներգիայի:

Ծանոթանանք ջերմաշարժիչի կառուցվածքին և գործողության սկզբունքներին:

Դիտարկենք գազ, որը գտնվում է գլանում՝ մխոցի տակ: Եթե գազին տրվի որոշակի ջերմաքանակ, ապա այն, ընդարձակվելով, կկատարի որոշակի աշխատանք: Գլանն ունի վերջավոր չափեր, ուստի գազի ընդարձակումն ի վերջո կդադարի. կդադարի նաև ջերմաքանակի (այսինքն՝ վառելիքի ներքին էներգիայի) փոխակերպումն աշխատանքի: Տվյալ դեպքում մենք գործ ունենք միայն մեկ անգամ գործող շարժիչի հետ (որի օրինակն է հրազենը): Ընդարձակման պրոցեսում մեխանիկական էներգիայի է փոխակերպվում սահմանափակ ջերմաքանակ: Որպեսզի գազը կարողանա նորից աշխատանք կատարել, այն պետք է վերադարձվի սկզբնական վիճակին: ***Գազի վիճակի փոփոխությունների համախումբը, որի արդյունքում գազը վերադառնում է սկզբնական վիճակին, կոչվում է շրջանային պրոցես** կամ **ցիկլ**:* Շրջանային պրոցես կարելի է իրականացնել տարբեր եղանակներով: Օրինակ, եթե գազն ինչ-որ ձևով ընդարձակվի և հետո նույն ձևով սեղմվի, ապա այն, իհարկե, կվերադառնա իր սկզբնական վիճակին (նկ. 174, 1→2՝ ընդարձակում, 2→1՝ սեղմում): Ակնհայտ է, որ 1→2→1 շրջանային պրոցեսում ստացված օգտակար աշխատանքը զրո է, քանի որ ընդարձակման պրոցեսում գազի կատարած դրական աշխատանքը (մակ. $V_1 12 V_2 V_1$) հավասար է սեղմման պրոցեսում նրա կատարած բացասական աշխատանքին (մակ. $V_2 21 V_1 V_2$, նկ. 174,ա):

Որպեսզի շրջանային պրոցեսում գազը կատարի զրոյից տարբեր աշխատանք, անհրաժեշտ է իրականացնել տարբեր պրոցեսներ՝ գազն ընդարձակել բարձր ճնշման տակ և բարձր ջերմաստիճանում, իսկ սկզբնական վիճակին վերադարձնել ցածր ճնշման տակ և ցածր ջերմաստիճանում (նկ. 174,բ): Այս դեպքում ընդարձակվելիս գազի կատարած դրական աշ-



Նկ. 174

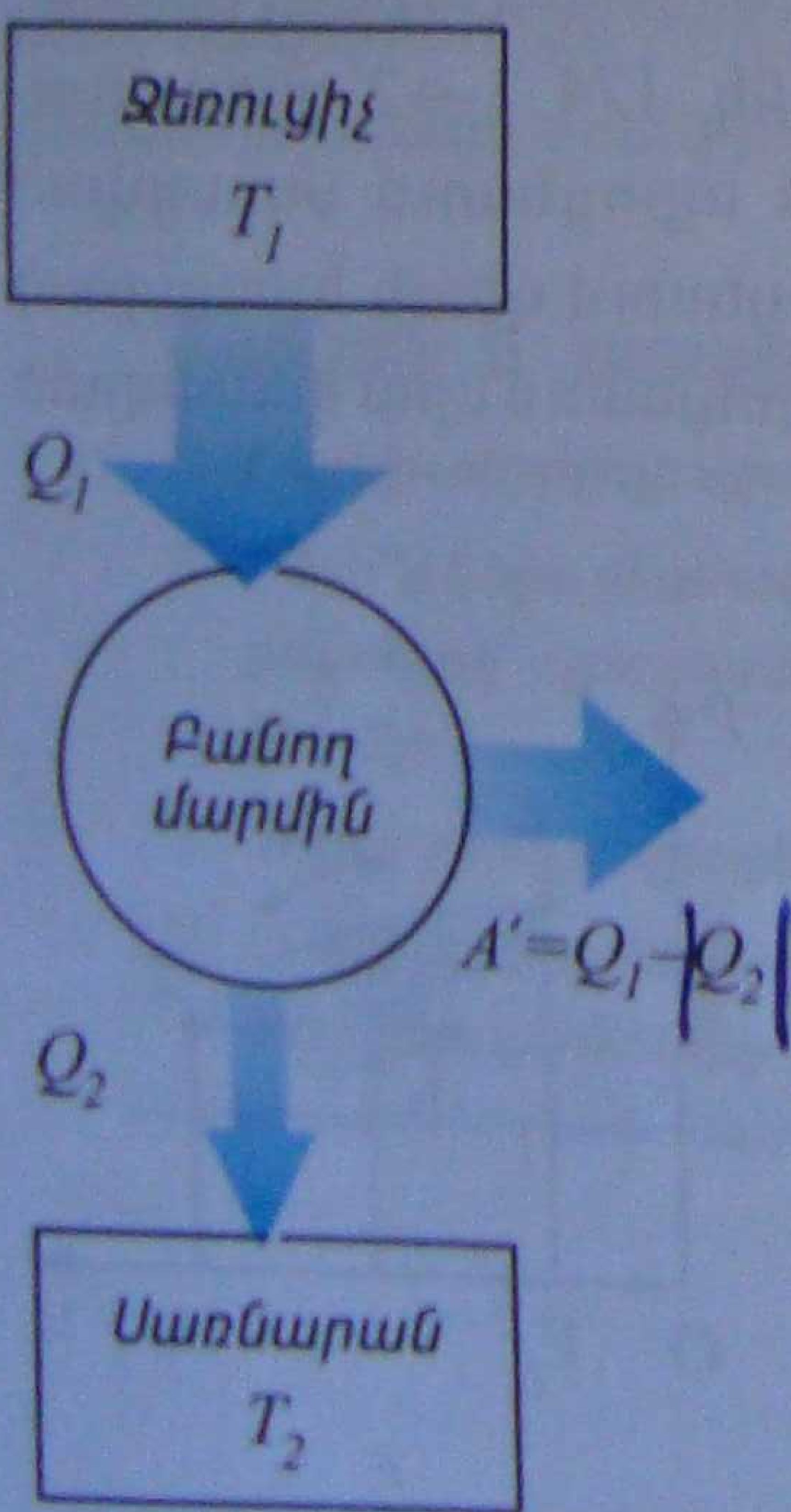
խատանքը (մակ. $V_1 1a2V_2V_1$) բացարձակ արժեքով մեծ է սեղմման պրոցեսում գազի կատարած բացասական աշխատանքից (մակ. $V_2 2b1V_1V_2$), ուստի մեկ շրջանային պրոցեսում գազի կատարած օգտակար աշխատանքը կլինի դրական և հավասար նկ. 174,բ-ում գծապատված պատկերի մակերեսին: Որպեսզի հնարավոր լինի փոքրացնել գազի ճնշումն ու ջերմաստիճանը, նրանից պետք է վերցնել որոշակի ջերմաքանակ, այսինքն՝ սեղմելուց առաջ այն պետք է ջերմային հպման մեջ դնել ավելի ցածր ջերմաստիճանով մարմնի հետ: Այսպիսով, որպեսզի ջերմաշարժիչն աշխատի անընդհատ՝ վառելիքի ներքին էներգիան փոխակերպելով մեխանիկական էներգիայի, այն պետք է պարբերաբար վերադառնա սկզբնական վիճակին: Դրա համար անհրաժեշտ է՝ ա) ***ջեռուցիչ*** (T_1 ջերմաստիճանով), որտեղ տեղի է ունենում վառելիքի այրումը, բ) ***բանող մարմին (գազ)***, որը ջեռուցիչից ստացած Q_1 ջերմաքանակի հաշվին ընդարձակվելով՝ կատարում է աշխատանք, գ) ***սառնարան*** ($T_2 < T_1$ ջերմաստիճանով), որը, բանող մարմնից վերցնելով Q_2 ջերմաքանակ, ապահովում է նրա վերադարձը սկզբնական վիճակին:

Բանող մարմինը $1a2$ պրոցեսում ստանում է ջերմաքանակ ($Q_1 > 0$), իսկ $2b1$ պրոցեսում՝ տալիս ($Q_2 < 0$), ուստի $1a2b1$ շրջանային պրոցեսում նրա ստացած ջերմաքանակը կլինի հավասար $Q_1 + Q_2 = Q_1 - |Q_2|$: Մեկ ցիկլ կատարելուց հետո բանող մարմինը վերադառնում է սկզբնական 1 վիճակին, ուստի նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը՝ $\Delta U = U_{վերջ.} - U_{սկզբ.} = U_1 - U_1 = 0$: Ջերմադինամիկայի I օրենքի համաձայն՝ մեկ ցիկլում ջերմաշարժիչի կատարած աշխատանքը՝

$$A' = Q_1 - |Q_2|: \quad (15.38)$$

Եթե ջերմաշարժիչն աշխատել է որոշակի ժամանակ, ապա Q_1-ն ու Q_2-ն այդ ժամանակամիջոցում ջեռուցիչից ստացված և սառնարանին տրված ջերմաքանակներն են, իսկ A'-ը՝ ջերմաշարժիչի կատարած աշխատանքը (նկ. 175):

Ջերմաշարժիչի՝ ներքին էներգիան մեխանիկականի փոխակերպելու արդյունավետությունը բնութագրելու համար մտցվում է ջերմաշարժիչի օգտակար գործողության գործակից (ՕԳԳ) կոչվող բնութագիրը: Այն հավասար է ջերմաշարժիչի կատարած A' օգտակար աշխատանքի և նրան տրված Q_1 ջերմաքանակի հարաբերությանը՝



Նկ. 175

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}: \quad (15.39)$$

Քանի որ $Q_2 \neq 0$ (այլապես ջերմաշարժիչն աշխատել չի կարող), ապա միշտ $\eta < 1$, այսինքն՝ անհնար է ներքին էներգիան ***ամբողջությամբ*** փոխակերպել մեխանիկականի:

Ջերմաշարժիչի ՕԳԳ-ի առավելագույն արժեքը: Այժմ պարզենք, թե ինչ ամենամեծ հնարավոր արժեք կարող է ունենալ T_1 ջերմաստիճանով ջեռուցիչ և T_2 ջերմաստիճանով սառնարան ունեցող ջերմաշարժիչը: Այս խնդիրը լուծել է Ս. Կառնոն (1824 թ.): Նա ցույց է տվել, որ ամենաշահավետն է երկու իզոթերմ և երկու ադիաբատ պրոցեսներից բաղկացած շրջանային պրոցեսը (Կառնոյի ցիկլ): Կառնոյի կողմից առաջարկված ջերմաշարժիչի մտային մոդելում բանող մարմինն իդեալական գազն է, իսկ ջերմաշարժիչն աշխա-



Կառնո Նիկոլա Լեոնար Սադի (1796-1832)

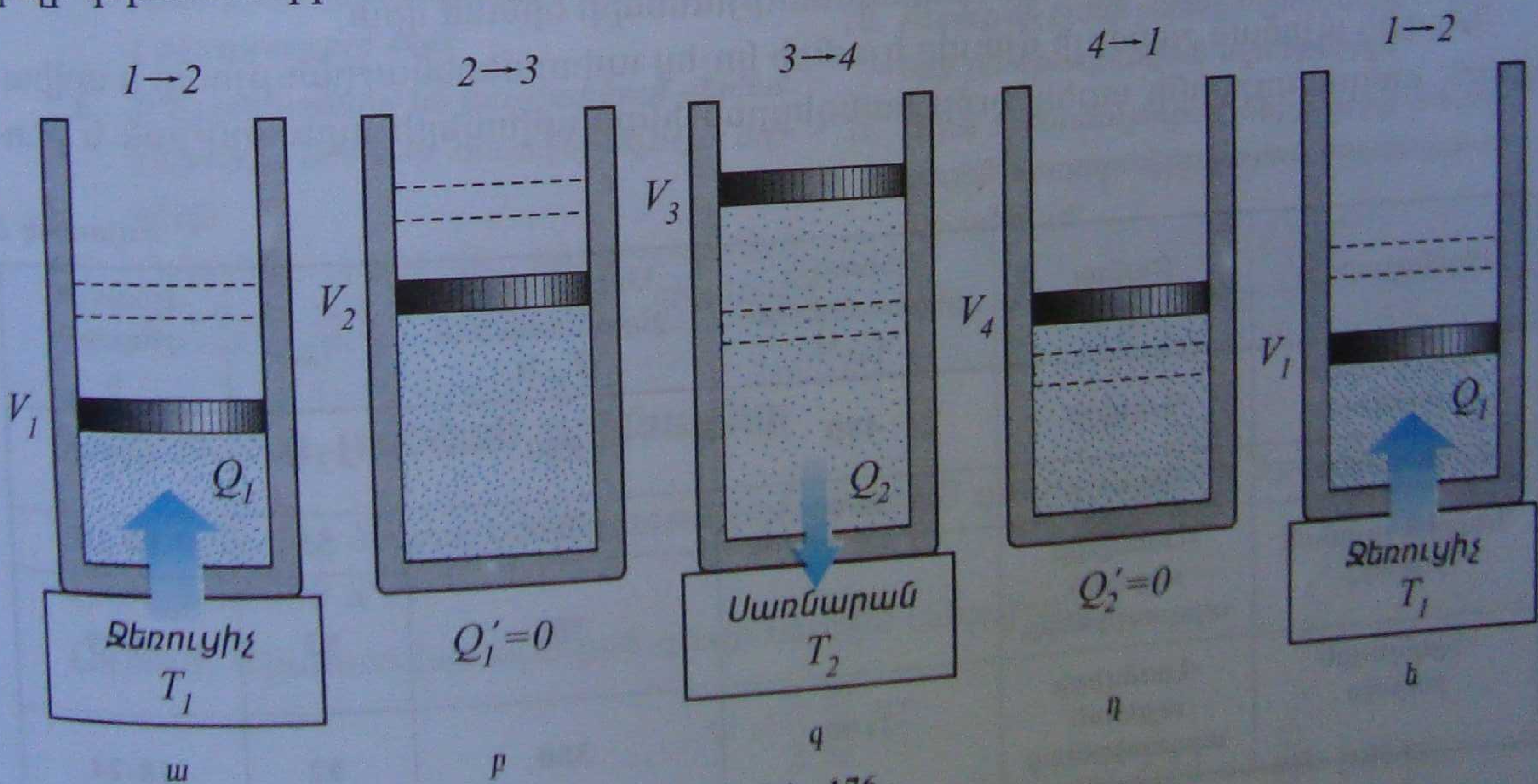
Ֆրանսիայի ֆիզիկոս, ճարտարագետ, ջերմադինամիկայի ստեղծողներից: Մտցրել է ջերմամեքենաների շրջանային պրոցեսի և շրջելի պրոցեսի հասկացությունները, ձևակերպել ներկայումս իր անունը կրող թեորեմը ջերմաշարժիչի առավելագույն ՕԳԳ-ի մասին: Նպաստել է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի հայտնագործմանը:

տում է առանց կորուստների (իդեալական ջերմաշարժիչ): Նկ. 176-ում պատկերված են իդեալական ջերմաշարժիչի շրջանային պրոցեսի փուլերը:

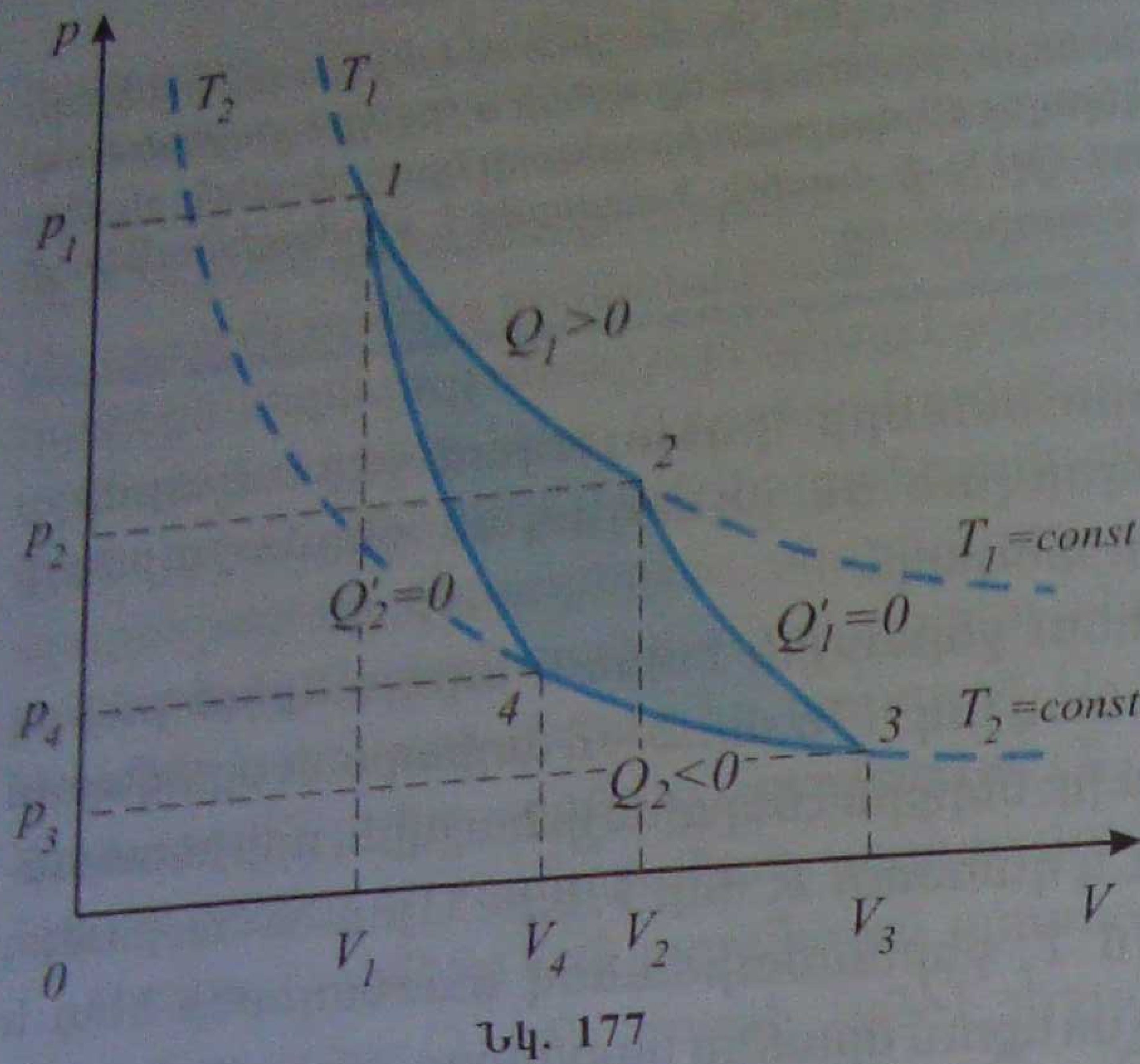
1→2 իզոթերմ պրոցեսում ջեռուցչի հետ ջերմային հպման արդյունքում բանող մարմինը նրանից ստանում է Q_1 ջերմաքանակ (նկ. 176,ա): 2→3 ադիաբատ պրոցեսում բանող մարմինն աշխատանք է կատարում իր ներքին էներգիայի հաշվին, որի հետևանքով նրա ջերմաստիճանը T_1-ից նվազում է և դառնում T_2 (նկ. 176,բ): Այնուհետև, բանող մարմինը ջերմային հպման մեջ է դրվում T_2 ջերմաստիճանով սառնարանի հետ և սեղմվում (3→4 իզոթերմ սեղմում), որի արդյունքում նրանից սառնարանին է անցնում Q_2 ջերմաքանակ (նկ. 176,գ): 4 կետը (այսինքն՝ V_4 ծավալը և p_4 ճնշումը) ընտրվում է այնպես, որ հետագա 4→1 ադիաբատ սեղմման պրոցեսում մարմինը վերադառնա p_1, V_1, T_1 սկզբնական վիճակին (նկ. 176,դ): 4→1 ադիաբատ պրոցեսում բանող մարմնի ջերմաստիճանի աճը T_2-ից մինչև T_1 հետևանք է բանող մարմնի (իդեալական գազի) ներքին էներգիայի մեծացման՝ ի հաշիվ արտաքին ուժերի կողմից կատարված դրական աշխատանքի: Նկ. 177-ում պատկերված է Կառնոյի շրջանային պրոցեսը: Կառնոյի հաշվարկների համաձայն՝ ՕԳԳ-ի առավելագույն արժեքը

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1 : \qquad (15.40)$$

Առավելագույն՝ η_{max} ՕԳԳ ունի միայն Կառնոյի ցիկլով աշխատող իդեալական ջերմաշարժիչը: Ցանկացած իրական ջերմաշարժիչի ՕԳԳ-ն, նրանում առկա անխուսափելի կորուստների հետևանքով, միշտ փոքր է η_{max}-ից՝ $\eta_{իրական} \equiv \eta < \eta_{max}$:



Նկ. 176



Նկ. 177

(15.40) առնչությունից և ՕԳԳ-ի (15.39) սահմանումից հետևում է, որ իդեալական ջերմաշարժիչում բանող մարմնից սառնարանին է տրվում

$$|Q_2| = Q_1 \frac{T_2}{T_1} = (1-\eta_{max})Q_1 \quad (15.41)$$

ջերմաքանակ: Որքան բարձր է ջեռուցչի T_1 ջերմաստիճանը և որքան ցածր է սառնարանի T_2 ջերմաստիճանը, այնքան փոքր է (նույն Q_1-ի դեպքում) սառնարանին տրված ջերմաքանակը, և, հետևաբար, մեծ է η_{max}-ը:

(15.40) բանաձևով որոշվող η-ն ջերմաշարժիչների ՕԳԳ-ի տեսական վերին սահմանն է: Իրական ջերմաշարժիչներում η-ն, բացի T_1-ից և T_2-ից, կախված է նաև այլ գործոններից՝ շարժիչի մասերի միջև շփման առկայությունից, շրջապատին «անվերադարձ» տրվող ջերմաքանակից, շարժիչում ընթացող պրոցեսների անհավասարակշիռ բնույթից և այլն: Աղյուսակ 2-ում բերված են մի քանի ջերմաշարժիչների բնութագրեր, որոնցից ակնհայտ է, որ իրական ջերմաշարժիչների ՕԳԳ-երն զգալիորեն փոքր են նույնպիսի T_1 և T_2 ջերմաստիճաններով իդեալական ջերմաշարժիչի ՕԳԳ-ից: Բերված տվյալներից նաև հետևում է, որ ջերմաշարժիչի սառնարանի ջերմաստիճանը միշտ բարձր է շրջապատի ջերմաստիճանից:

Ջերմաշարժիչների կիրառությունները: Ջերմաշարժիչները բացառիկ կարևոր դեր են խաղում մարդկային հասարակության կյանքում: Նշանակալի է նրանց դերը տեխնիկայի, հատկապես՝ էներգետիկայի և տրանսպորտի, ինչպես և գիտության զարգացման գործում: Բավական է նշել, որ ջերմադինամիկան, որպես ֆիզիկայի առանձին բնագավառ, հիմնականում ձևավորվել է ջերմաշարժիչների կառուցմանը և կատարելագործմանը նվիրված հետազոտությունների հիման վրա:

Ներքին այրման շարժիչի գյուտը կյանքի կոչեց ավտոմեքենաշինությունը և ավիացիան, գազատուրբինի ստեղծումը հանգեցրեց ինքնաթիռների արագության և բեռ-

Աղյուսակ 2

Ջերմաշարժիչ	Բանող մարմին	Ջեռուցչի ջերմաստիճան T_1, Կ	Սառնարանի ջերմաստիճան T_2, Կ	η_{max}	Իրական շարժիչի η
Մխոցավոր շոգեմեքենա	Գոլորշի	480	300	37	7-15
Շոգետուրբին	Գոլորշի	850	380	55	20-25
Ներքին այրման շարժիչ	Վառելիքի այրման արգասիքները	2100	380	82	30-39
Դիզելային շարժիչ	Վառելիքի այրման արգասիքները	2100	380	82	18-24

նամբարձության շեշտակի աճի, իսկ ռեակտիվ շարժիչների ստեղծումը հնարավոր դարձրեց տիեզերական թռիչքները: Առանց այս ջերմաշարժիչների ժամանակակից քաղաքակրթությունը ստեղծվել չէր կարող:

Սակայն, լինելով քաղաքակրթության «շարժիչ ուժերից» կարևորագույնը, ջերմաշարժիչներն այսօր արդեն լուրջ բնապահպանական խնդիրներ են առաջադրում:

Այսպես, ջերմաշարժիչներում վառելիքի այրումը երբեք լրիվ չի կատարվում, ուստի մթնոլորտ արտանետված այրման արգասիքներն աղտոտում են այն մարդու և կենդանիների համար վնասակար նյութերով (օրինակ՝ CO_2, SO_2, H_2S, NO և այլն), որոնք, ջրի հետ մտնելով ռեակցիայի մեջ, առաջ են բերում թթվային անձրևներ:

Մթնոլորտի աղտոտումը նվազեցնելու նպատակով ներկայումս ձեռնարկվում են միջոցներ, որոնցից են՝ վառելիքի լրիվ այրմանն ուղղված աշխատանքները, ջերմակայանների և ներքին այրման շարժիչների արտանետած գազերի ավելի խնամքով զտումը, ինչպես նաև ավելի «մաքուր» վառելիքի որոնումները:

Լայնամասշտաբ հետազոտություններ են տարվում ջրածնային շարժիչի ստեղծման ուղղությամբ, որի աշխատանքային պրոցեսում մթնոլորտ կարտանետվի ջուր:

Ներկայումս որպես վառելիք ներքին այրման շարժիչներում լայնորեն կիրառվում է նախապես մաքրված բնական գազը, իսկ որոշ երկրներում՝ նաև սպիրտը (տե՛ս նաև կազմի 4-րդ էջը):

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր սարքն է կոչվում ջերմաշարժիչ:*
2. *Ի՞նչ հիմնական մասերից է բաղկացած ջերմաշարժիչը:*
3. *Ո՞րն է ջերմաշարժիչի բանող մարմնի դերը:*
4. *Ո՞րն է ջերմաշարժիչի սառնարանի դերը:*
5. *Տվե՛ք ջերմաշարժիչի օգտակար գործողության գործակցի սահմանումը: Ի՞նչ է բնութագրում այն:*
6. *Ի՞նչ բանաձևով են հաշվարկում ջերմաշարժիչի ՕԳԳ-ի առավելագույն արժեքը:*
7. *Ինչպե՞ս կփոխվի ջերմաշարժիչի ՕԳԳ-ն, եթե սառնարանի ջերմաստիճանը մնա անփոփոխ, իսկ ջեռուցչի ջերմաստիճանն իջնի:*
8. *Ինչպե՞ս կփոխվի ջերմաշարժիչի ՕԳԳ-ն, եթե ջեռուցչի ջերմաստիճանը մնա անփոփոխ, իսկ սառնարանի ջերմաստիճանն իջնի:*
9. *Ի՞նչ պրոցեսներից է բաղկացած Կառնոյի շրջանային պրոցեսը (ցիկլը):*
10. *Բերե՛ք մի քանի ջերմաշարժիչների ՕԳԳ-երի բնութագրական արժեքները:*
11. *Ո՞րն է ջերմաշարժիչների դերը մարդկային քաղաքակրթության զարգացման պրոցեսում:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Որոշել 2 լ ծավալով միատոմ իդեալական գազի ճնշումը, եթե նրա ներքին էներգիան 300 Ջ է:***

Լուծում: Միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան՝

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT ,$$

որտեղ m-ը գազի զանգվածն է, M-ը՝ մոլային զանգվածը: Համաձայն իդեալական

գազի վիճակի հավասարման՝ $pV = mRT/M$, ուստի վերը նշված բանաձևերից կստանանք՝ $U = 3pV/2$, որտեղից՝

$$p = \frac{2}{3}\frac{U}{V} = 10^5 \text{Պա} :$$

2. ***0°C ջերմաստիճանում գտնվող 15 կգ զանգվածով ջրում լողում է 5 կգ զանգվածով սառույցի կտորը: Խառնուրդը մինչև 80°C տաքացնելու համար նրա մեջ մղում են 100°C-ի ջրային գոլորշի: Որոշել գոլորշու պահանջվող նվազագույն զանգվածը:***

Լուծում: Ջրային գոլորշին, խտանալով, վերածվում է $t_2 = 100$°C ջերմաստիճանով, m զանգվածով ջրի, որն էլ սառչում է մինչև խառնուրդի $\theta = 80$°C ջերմաստիճանը: Այս երկու պրոցեսում անջատվում են $Q_{խտ} = -mr$ և $Q_2 = mc(\theta - t_2)$ ջերմաքանակները ($r = 2{,}3 \cdot 10^6$ Ջ/կգ-ը ջրի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է, $c = 4{,}2 \cdot 10^3$ Ջ/կգ·Կ՝ ջրի տեսակարար ջերմունակությունը): Անջատված ջերմաքանակի հաշվին հալվում է սառույցը՝ $Q_1 = \lambda m_0$ ($\lambda = 3{,}3 \cdot 10^5$ Ջ/կգ-ը սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունն է), որից առաջացած m_0 զանգվածով ջուրը, ստանալով $Q_0 = m_0 c(\theta - t_1)$ ջերմաքանակ, և սկզբում եղած m_3 զանգվածով ջուրը, որը ստանում է $Q_3 = m_3 c(\theta - t_1)$ ջերմաքանակ, տաքանում են մինչև $\theta = 80$°C: Համաձայն ջերմային հաշվեկշռի հավասարման՝ $Q_{խտ} + Q_2 + Q_1 + Q_0 + Q_3 = 0$ կամ $-mr + mc(\theta - t_2) + \lambda m_0 + (m_0 + m_3)c(\theta - t_1) = 0$, որտեղից՝

$$m = \frac{\lambda m_0 + c(m_0 + m_3)(\theta - t_1)}{r + c(t_2 - \theta)} \approx 3{,}51 \text{ կգ} :$$

3. ***Իդեալական ջերմամեքենան որոշակի ժամանակամիջոցում ջեռուցիչից ստանում է $6 \cdot 10^4$ Ջ ջերմաքանակ: Ջեռուցչի ջերմաստիճանը 127°C է, սառնարանինը՝ 27°C: Ի՞նչ ջերմաքանակ է փոխանցվում ջերմամեքենայի սառնարանին այդ նույն ժամանակամիջոցում:***

Լուծում: Իդեալական ջերմամեքենայի ՕԳԳ-ի սահմանման համաձայն՝

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad \text{կամ} \quad \frac{|Q_2|}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1},$$

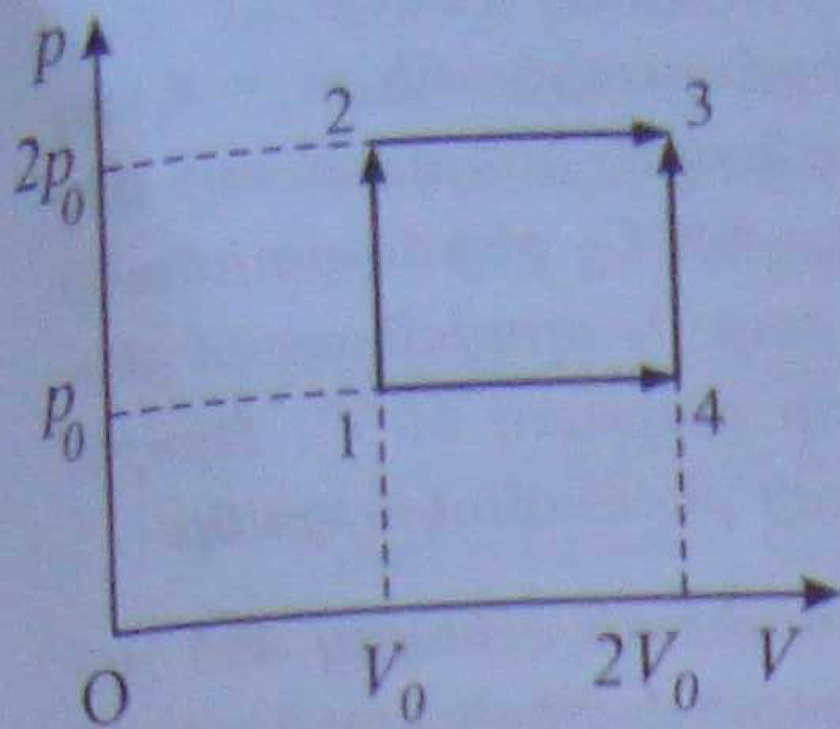
որտեղ Q_1-ը ջեռուցչից բանող մարմնի ստացած ջերմաքանակն է, $|Q_2|$-ը՝ սառնարանին փոխանցված ջերմաքանակը, որը հավասար է՝

$$|Q_2| = Q_1 \frac{T_2}{T_1} = 4{,}5 \cdot 10^4 \text{ Ջ} :$$

4. ***ν մոլ նյութի քանակով իդեալական գազը 1 (V_0, p_0) վիճակից բերվում է 3 ($2V_0$, $2p_0$) վիճակի երկու ձևով՝ 1→2→3 և 1→4→3 (տե՛ս նկարը): Որոշել նշված պրոցեսներում գազի ստացած ջերմաքանակների հարաբերությունը:***

Լուծում: 1→2→3 պրոցեսում, ըստ ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի՝

$$Q_1 = \Delta U + A'_1,$$



որտեղ Q_1-ը գազի ստացած ջերմաքանակն է, ΔU-ն՝ նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը, A_1'-ը՝ գազի կատարած աշխատանքը: Միատոմ իդեալական գազի դեպքում՝

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1):$$

1 և 3 վիճակների ջերմաստիճանների $T_3 - T_1$ տարբերությունը որոշենք դրանց համար գրված Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումներից՝

$$p_1V_1 = p_0V_0 = \nu RT_1; \quad p_3V_3 = 2p_0 2V_0 = \nu RT_3,$$

որտեղից՝

$$T_3 - T_1 = \frac{3p_0V_0}{\nu R} \quad \text{և} \quad \Delta U = \frac{9}{2}p_0V_0:$$

1→2 իզոխոր պրոցեսում աշխատանք չի կատարվում, ուստի

$$A' = p_2(V_3 - V_1) = 2p_0(2V_0 - V_0) = 2p_0V_0:$$

Հետևաբար, ըստ $Q_1 = \Delta U + A_1'$ հավասարման՝

$$Q_1 = \frac{9}{2}p_0V_0 + 2p_0V_0 = \frac{13}{2}p_0V_0,$$

1→4→3 պրոցեսում

$$Q_2 = \Delta U + A_2':$$

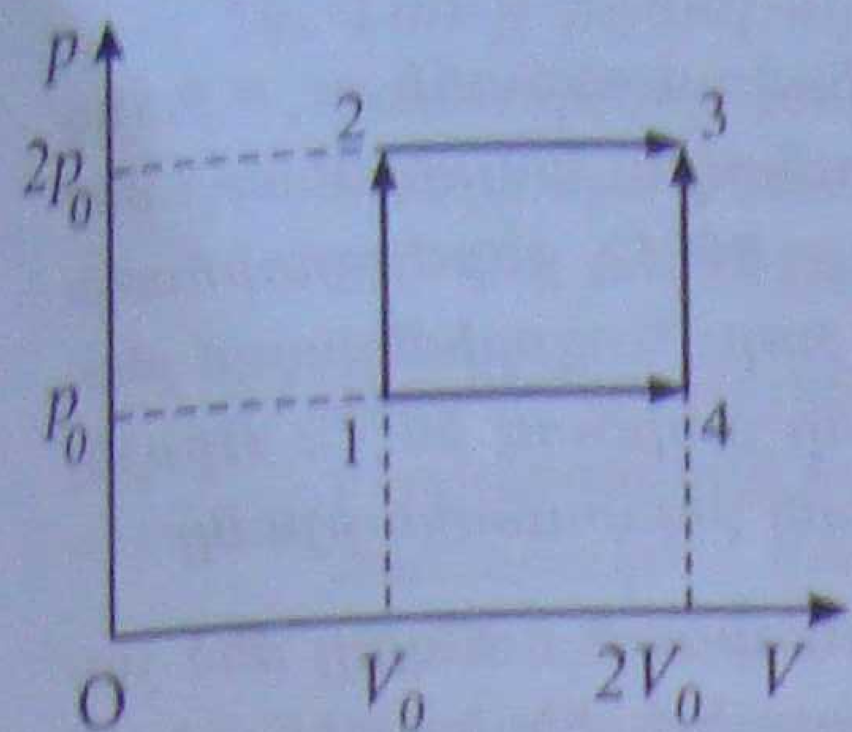
Նշենք, որ ΔU-ն կախված չէ 1→3 անցման ձևից: Քանի որ $A_2' = p_1(V_4 - V_1) = p_0(2V_0 - V_0) = p_0V_0$, ապա՝

$$Q_2 = \frac{9}{2}p_0V_0 + p_0V_0 = \frac{11}{2}p_0V_0:$$

Ջերմաքանակների հարաբերությունը՝ $Q_1 : Q_2 = 13 : 11$:

Խնդիրներ

1. *10 կգ զանգվածով մարմինն առանց սկզբնական արագության ընկնում է 20 մ բարձրությունից: Որքա՞ն է մեծանում մարմնի ներքին էներգիան գետնին հարվածելիս, եթե մարմնի տաքացման վրա ծախսվում է կինետիկ էներգիայի 10%-ը:*
2. *Ինչպե՞ս կփոխվի միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան, եթե նրա ճնշումը մեծանա 2 անգամ, իսկ ծավալը փոքրանա 3 անգամ:*
3. *Որոշել միատոմ գազի ներքին էներգիան, եթե նրա ծավալը V է, ջերմաստիճանը՝ T, իսկ մոլեկուլների կոնցենտրացիան՝ n:*
4. *Իդեալական գազը $4\cdot10^5$ Պա ճնշման տակ զբաղեցնում է 0,02 $м^3$ ծավալ: Քանի՞ անգամ պետք է իզոբար կերպով մեծացվի գազի ծավալը, որպեսզի ընդարձակման աշխատանքը հավասար լինի $4\cdot10^4$ Ջ-ի:*
5. *Որոշակի քանակությամբ գազը տաքացվում է 300 Կ-ից մինչև 400 Կ այնպես, որ*



որտեղ Q_1-ը գազի ստացած ջերմաքանակն է, ΔU-ն՝ նրա ներքին էներգիայի փոփոխությունը, A'_1-ը՝ գազի կատարած աշխատանքը: Միատոմ իդեալական գազի դեպքում՝

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1):$$

1 և 3 վիճակների ջերմաստիճանների $T_3 - T_1$ տարբերությունը որոշենք դրանց համար գրված Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումներից՝

$$p_1V_1 = p_0V_0 = \nu RT_1; \quad p_3V_3 = 2p_0 2V_0 = \nu RT_3,$$

որտեղից՝

$$T_3 - T_1 = \frac{3p_0V_0}{\nu R} \quad \text{և} \quad \Delta U = \frac{9}{2}p_0V_0:$$

1→2 իզոխոր պրոցեսում աշխատանք չի կատարվում, ուստի

$$A' = p_2(V_3 - V_1) = 2p_0(2V_0 - V_0) = 2p_0V_0:$$

Հետևաբար, ըստ $Q_1 = \Delta U + A'_1$ հավասարման՝

$$Q_1 = \frac{9}{2}p_0V_0 + 2p_0V_0 = \frac{13}{2}p_0V_0,$$

1→4→3 պրոցեսում

$$Q_2 = \Delta U + A'_2:$$

Նշենք, որ ΔU-ն կախված չէ 1→3 անցման ձևից: Քանի որ $A'_2 = p_1(V_4 - V_1) = p_0(2V_0 - V_0) = p_0V_0$, ապա՝

$$Q_2 = \frac{9}{2}p_0V_0 + p_0V_0 = \frac{11}{2}p_0V_0:$$

Ջերմաքանակների հարաբերությունը՝ $Q_1 : Q_2 = 13 : 11$:

Խնդիրներ

1. *10 կգ զանգվածով մարմինն առանց սկզբնական արագության ընկնում է 20 մ բարձրությունից: Որքա՞ն է մեծանում մարմնի ներքին էներգիան գետնին հարվածելիս, եթե մարմնի տաքացման վրա ծախսվում է կինետիկ էներգիայի 10%-ը:*

2. *Ինչպե՞ս կփոխվի միատոմ իդեալական գազի ներքին էներգիան, եթե նրա ճնշումը մեծանա 2 անգամ, իսկ ծավալը փոքրանա 3 անգամ:*

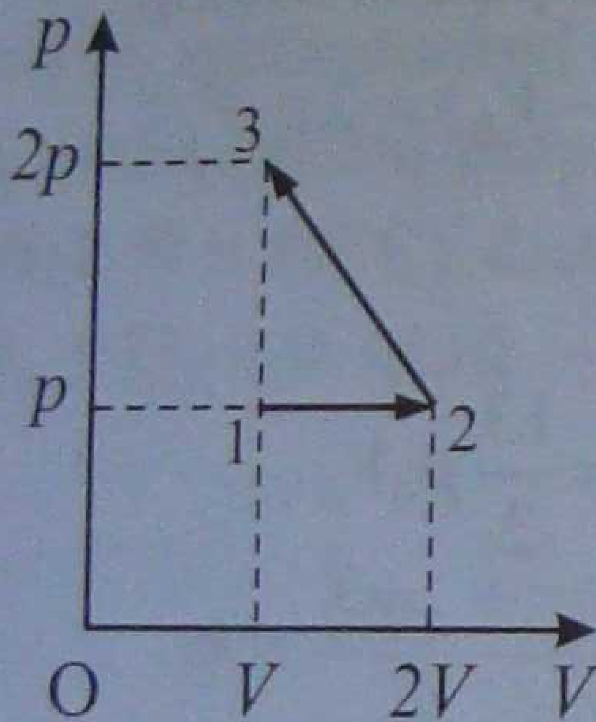
3. *Որոշել միատոմ գազի ներքին էներգիան, եթե նրա ծավալը V է, ջերմաստիճանը՝ T, իսկ մոլեկուլների կոնցենտրացիան՝ n:*

4. *Իդեալական գազը $4\cdot10^5$ Պա ճնշման տակ զբաղեցնում է 0,02 $մ^3$ ծավալ: Քանի՞ անգամ պետք է իզոբար կերպով մեծացվի գազի ծավալը, որպեսզի ընդարձակման աշխատանքը հավասար լինի $4\cdot10^4$ Ջ-ի:*

5. *Որոշակի քանակությամբ գազը տաքացվում է 300 Կ-ից մինչև 400 Կ այնպես, որ*

գազի ծավալը փոխվում է նրա ջերմաստիճանին համեմատական: Գազի սկզբնական ծավալը $3 \cdot 10^{-3}$ մ³ էր, իսկ վերջնական ճնշումը՝ 10^5 Պա: Ի՞նչ աշխատանք կատարեց գազն այդ պրոցեսում:

6. 1 → 2 ընդարձակման հետևանքով իդեալական գազի ծավալը կրկնապատկվեց, ընդ որում, այդ պրոցեսում գազի ճնշման կախվածությունը ծավալից գծային էր: Այնուհետև գազն իզոբար սեղմման հետևանքով՝ 2 →3 պրոցեսով վերադարձավ իր սկզբնական ծավալին (տե՛ս գծագիրը): Գտնել ընդարձակման և սեղմման աշխատանքների հարաբերությունը:



7. 2 կգ սառույցի ջերմաստիճանը մինչև 0°C բարձրացնելու համար պահանջվեց նրա ներքին էներգիան մեծացնել $4{,}2 \cdot 10^4$ Ջ-ով: Որոշել սառույցի սկզբնական ջերմաստիճանը (Ցելսիուսի սանդղակով):

8. Թեք հարթության գագաթից մինչև հիմքը սահելու ընթացքում մարմնի ջերմաստիճանը 0,4 Կ-ով բարձրացավ: Որոշել թեք հարթության բարձրությունը, եթե մարմնի տաքացման վրա ծախսվել է կորսված մեխանիկական էներգիայի 80%-ը: Մարմնի նյութի տեսակարար ջերմունակությունը 900 Ջ/(կգ·Կ) է:

9. 11,2 դմ³ տարողությամբ հերմետիկ անոթում գտնվում է օդ 10^5 Պա ճնշման տակ: Ի՞նչ ջերմաքանակ է անհրաժեշտ հաղորդել այդ օդին, որպեսզի նրա ճնշումը մեծանա 3 անգամ: Օդի մոլային ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում 21 Ջ/մոլ·Կ է:

10. t_1=30°C ջերմաստիճանի m_1 = 0,5կգ ջուր պարունակող կալորիմետրի մեջ լցրեցին t_2= 90°C ջերմաստիճանի m_2= 0,3 կգ ջուր: Կալորիմետրում ջերմաստիճանը դարձավ 60°C: Որոշել կալորիմետրի ջերմունակությունը:

11. 0°C ջերմաստիճան ունեցող մեծ չափերով սառույցի մակերևույթին դրեցին մինչև 100°C տաքացրած 3 կգ զանգվածով պողպատե մարմին: Ի՞նչ զանգվածով սառույց կհալվի մինչև պողպատի ջերմաստիճանի 0°C դառնալը:

12. $S = 2 \cdot 10^{-4}$ մ² հատույթի մակերեսով գլանում գազի ընդարձակման ժամանակ տաքացման պրոցեսում նրան հաղորդվեց $Q = 1{,}5 \cdot 10^5$ Ջ ջերմաքանակ $p = 2 \cdot 10^7$ Պա հաստատուն ճնշման տակ: Որքա՞ն փոխվեց գազի ներքին էներգիան, եթե մխոցը տեղաշարժվեց $\Delta h = 0{,}3$ մ:

13. **m** զանգվածով և **M** մոլային զանգվածով իդեալական գազի ջերմաստիճանը բարձրանում է ΔT-ով՝ մի անգամ **p = const** ճնշման տակ, մյուս անգամ՝ **V= const** ծավալի դեպքում: Ի՞նչ չափով կտարբերվեն առաջին և երկրորդ դեպքերում գազին հաղորդված ջերմաքանակները:

14. Քանի՞ անգամ է հաստատուն ճնշման դեպքում **m** զանգվածով գազին տրված ջերմաքանակը մեծ գազի կողմից ընդարձակման պրոցեսում կատարված աշխատանքից: Գազի ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում C_p է, նյութի քանակը՝ ν:

15. Իդեալական գազն իզոխոր կերպով տաքացնելիս նրա ներքին էներգիան աճում է 2400 Ջ-ով: Նույն գազն իզոբար կերպով տաքացնելիս նրա ներքին էներգիան աճում է 800 Ջ-ով: Ի՞նչ աշխատանք կատարեց գազն իզոբար ընդարձակման ընթացքում, եթե երկու դեպքում էլ նրան հաղորդվեց նույն ջերմաքանակը:

16. Գտե՛ք իդեալական ջերմամեքենայի սառնարանի բացարձակ ջերմաստիճանը, եթե ջեռուցչի ջերմաստիճանը 227°C է, իսկ մեքենայի ՕԳԳ-ն 30% է:

17. Ջերմամեքենայում սառնարանին տրված ջերմաքանակի հարաբերությունը նույն ժամանակում կատարված աշխատանքին հավասար է 3-ի: Որոշել մեքենայի ՕԳԳ-ն՝ արտահայտված տոկոսներով:

18. Իդեալական ջերմամեքենայի 270 Կ բացարձակ ջերմաստիճան ունեցող սառնարանին տրված ջերմաքանակի հարաբերությունը նույն ժամանակում նրա կատարած աշխատանքին հավասար է 3-ի: Որոշել ջեռուցչի բացարձակ ջերմաստիճանը:

19. Շոգետուրբին ներքափանցող գոլորշու ջերմաստիճանը 250°C է: Սառնարանի ջերմաստիճանը 40,8°C է, իսկ տուրբինի ՕԳԳ-ն՝ 24 %: Տուրբինի ՕԳԳ-ն որքա՞ն է փոքր նույն ջերմաստիճանային պայմաններում աշխատող իդեալական ջերմամեքենայի ՕԳԳ-ից:

ԳԼՈՒԽ 15-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ջերմադինամիկական համակարգն օժտված է ներքին էներգիայով, որը համակարգը կազմող մասնիկների քաոսային շարժման կինետիկ էներգիաների և դրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարն է: Ներքին էներգիան ջերմադինամիկական պարամետրերի միարժեք ֆունկցիա է: Իդեալական գազի ներքին էներգիան ուղիղ համեմատական է գազի քանակին և բացարձակ ջերմաստիճանին: Միատոմ իդեալական գազի դեպքում՝

$$U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT :$$

2. Համակարգի կատարած աշխատանքը՝ $A' = p\Delta V$, որտեղ p-ն ճնշումն է, ΔV-ն՝ ծավալի փոփոխությունը: Համակարգի տված կամ ստացած ջերմաքանակը՝ $Q = mc\Delta T$, որտեղ c-ն տեսակարար ջերմունակությունն է, ΔT-ն՝ ջերմաստիճանի փոփոխությունը: Ֆազային անցումներում (գոլորշացում-խտացում, հալում-պնդացում) կլանված կամ անջատված ջերմաքանակները տրվում են $Q = \pm m\lambda$ և $Q = \pm mr$ բանաձևերով (λ-ն հեղուկի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է, r-ը՝ հալման տեսակարար ջերմությունը): m զանգվածով վառելիքի այրումից ստացված ջերմաքանակը՝ $Q = mq$, որտեղ q-ն վառելիքի այրման տեսակարար ջերմությունն է: Աշխատանքը և ջերմաքանակը կախված են ընթացող ջերմադինամիկական պրոցեսից:

3. Համաձայն ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի՝ համակարգին տրված ջերմաքանակը հավասար է համակարգի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխության և համակարգի կատարած A' աշխատանքի գումարին՝

$$Q = \Delta U + A' :$$

Իզոխոր պրոցեսում ($V = const$) $A' = 0$ և $\Delta U = Q$, իզոթերմ պրոցեսում ($T = const$) իդեալական գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը՝ $\Delta U = 0$ և $Q = A'$, իզոբար պրոցեսում ($p = const$) $Q = \Delta U + p(V_2 - V_1)$, ադիաբատ պրոցեսում ($Q = 0$) $\Delta U = -A'$:

16. Գտե՛ք իդեալական ջերմամեքենայի սառնարանի բացարձակ ջերմաստիճանը, եթե ջեռուցչի ջերմաստիճանը 227°C է, իսկ մեքենայի ՕԳԳ-ն 30% է:

17. Ջերմամեքենայում սառնարանին տրված ջերմաքանակի հարաբերությունը նույն ժամանակում կատարված աշխատանքին հավասար է 3-ի: Որոշել մեքենայի ՕԳԳ-ն՝ արտահայտված տոկոսներով:

18. Իդեալական ջերմամեքենայի 270 Կ բացարձակ ջերմաստիճան ունեցող սառնարանին տրված ջերմաքանակի հարաբերությունը նույն ժամանակում նրա կատարած աշխատանքին հավասար է 3-ի: Որոշել ջեռուցչի բացարձակ ջերմաստիճանը:

19. Շոգետուրբին ներբափանցող գոլորշու ջերմաստիճանը 250°C է: Սառնարանի ջերմաստիճանը 40,8°C է, իսկ տուրբինի ՕԳԳ-ն՝ 24 %: Տուրբինի ՕԳԳ-ն որքա՞ն է փոքր նույն ջերմաստիճանային պայմաններում աշխատող իդեալական ջերմամեքենայի ՕԳԳ-ից:

ԳԼՈՒԽ 15-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ջերմադինամիկական համակարգն օժտված է ներքին էներգիայով, որը համակարգը կազմող մասնիկների քաոսային շարժման կինետիկ էներգիաների և դրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարն է: Ներքին էներգիան ջերմադինամիկական պարամետրերի միարժեք ֆունկցիա է: Իդեալական գազի ներքին էներգիան ուղիղ համեմատական է գազի քանակին և բացարձակ ջերմաստիճանին: Միատոմ իդեալական գազի դեպքում՝

$$U = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT :$$

2. Համակարգի կատարած աշխատանքը՝ $A' = p\Delta V$, որտեղ p-ն ճնշումն է, ΔV-ն՝ ծավալի փոփոխությունը: Համակարգի տված կամ ստացած ջերմաքանակը՝ $Q = mc\Delta T$, որտեղ c-ն տեսակարար ջերմունակությունն է, ΔT-ն՝ ջերմաստիճանի փոփոխությունը: Ֆազային անցումներում (գոլորշացում-խտացում, հալում-պնդացում) կլանված կամ անջատված ջերմաքանակները տրվում են $Q = \pm m\lambda$ և $Q = \pm mr$ բանաձևերով (λ-ն հեղուկի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է, r-ը՝ հալման տեսակարար ջերմությունը): m զանգվածով վառելիքի այրումից ստացված ջերմաքանակը՝ $Q = mq$, որտեղ q-ն վառելիքի այրման տեսակարար ջերմությունն է: Աշխատանքը և ջերմաքանակը կախված են ընթացող ջերմադինամիկական պրոցեսից:

3. Համաձայն ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի՝ համակարգին տրված ջերմաքանակը հավասար է համակարգի ներքին էներգիայի ΔU փոփոխության և համակարգի կատարած A' աշխատանքի գումարին՝

$$Q = \Delta U + A' :$$

Իզոխոր պրոցեսում ($V = const$) $A' = 0$ և $\Delta U = Q$, իզոբար պրոցեսում ($p = const$) $Q = \Delta U + p(V_2 - V_1)$, իզոթերմ պրոցեսում ($T = const$) իդեալական գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը՝ $\Delta U = 0$ և $Q = A'$, ադիաբատ պրոցեսում ($Q = 0$) $\Delta U = -A'$:

4. Մեկուսացված համակարգում ($A' = 0$, $Q = 0$) $\Delta U = 0$, և ջերմափոխանակությունը տեղի է ունենում մեկուսացված համակարգ կազմող մարմինների միջև, որոնց տված կամ ստացած Q_1, Q_2, ..., Q_n ջերմաքանակների գումարը՝ $Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n = 0$ (ջերմային հաշվեկշռի հավասարում):

5. Բնության մեջ ընթացող ջերմադինամիկական պրոցեսներն անշրջելի են՝ դրանք կարող են ընթանալ միայն մեկ ուղղությամբ (ջերմությունն ինքնակամորեն տաք մարմնից անցնում է սառը մարմնին, մեխանիկական էներգիան ինքնակամորեն փոխակերպվում է ջերմային (ներքին) էներգիայի): Մակրոպրոցեսների անշրջելիությունը հաստատող փորձնական փաստերի ընդհանրացումն ընկած է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի հիմքում:

6. Ջերմաշարժիչն աշխատանք է կատարում ջեռուցչից ստացած ջերմաքանակի հաշվին՝ անպայման դրա մի մասը հաղորդելով սառնարանին: Ջերմաշարժիչի առավելագույն ՕԳԳ-ն՝

$$\eta_{max} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

որտեղ T_1-ը ջեռուցչի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2-ը՝ սառնարանի:

4. ***Մեկուսացված համակարգում ($A' = 0$, $Q = 0$) $\Delta U = 0$, և ջերմափոխանակությունը տեղի է ունենում մեկուսացված համակարգ կազմող մարմինների միջև, որոնց տված կամ ստացած $Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ ջերմաքանակների գումարը՝ $Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n = 0$ (ջերմային հաշվեկշռի հավասարում):***

5. ***Բնության մեջ ընթացող ջերմադինամիկական պրոցեսներն անշրջելի են՝ դրանք կարող են ընթանալ միայն մեկ ուղղությամբ (ջերմությունն ինքնակամորեն տաք մարմնից անցնում է սառը մարմնին, մեխանիկական էներգիան ինքնակամորեն փոխակերպվում է ջերմային (ներքին) էներգիայի): Մակրոպրոցեսների անշրջելիությունը հաստատող փորձնական փաստերի ընդհանրացումն ընկած է ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի հիմքում:***

6. Ջերմաշարժիչն աշխատանք է կատարում ջեռուցչից ստացած ջերմաքանակի հաշվին՝ անպայման դրա մի մասը հաղորդելով սառնարանին: Ջերմաշարժիչի առավելագույն ՕԳԳ-ն՝

$$\eta_{max} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

որտեղ T_1-ը ջեռուցչի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2-ը՝ սառնարանի:

16 ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԵՎ ԳԱԶԵՐԻ ՓՈԽԱԴԱՐՁ ՓՈԽԱԿԵՐՊՈՒՄՆԵՐԸ



§ 78. Գոլորշացում և խտացում

Բնության մեջ, տեխնիկայում և կենցաղում հեղուկ և պինդ վիճակից գազային վիճակի անցման շատ օրինակներ կան: ***Նյութի անցումը հեղուկ կամ պինդ վիճակից գազային վիճակի կոչվում է շոգեգոյացում:***

Շոգեգոյացումն ընթանում է երկու ձևով՝ ***գոլորշացում*** և ***եռում***: Նախ ծանոթանանք այն ֆիզիկական պրոցեսներին, որոնք կապված են գոլորշացման և նրա հակառակ պրոցեսի՝ ***խտացման*** հետ:

Հեղուկների գոլորշացման երևույթին ծանոթ եք բոլորը:

Ցանկացած բաց անոթում ջրի կամ այլ հեղուկի քանակը ժամանակի ընթացքում նվազում է, քանի որ հեղուկի որոշ մոլեկուլներ ջերմային շարժման հետևանքով ձեռք են բերում այնպիսի կինետիկ էներգիաներ, որ կարողանում են հեռանալ հեղուկից: Այդպիսի մոլեկուլների համախումբը, որը գտնվում է հեղուկի ազատ մակերևույթի մոտ, իրենից ներկայացնում է այդ հեղուկի գոլորշին, այսինքն՝ տվյալ նյութի գազային վիճակը:

Գոլորշացման հետ միաժամանակ տեղի է ունենում նաև հակառակ պրոցեսը՝ խտացումը (կոնդենսացիա), երբ գոլորշու մոլեկուլների մի մասը վերադառնում է հեղուկ:

Գոլորշացում տեղի է ունենում ցանկացած ջերմաստիճանում, ընդ որում, գոլորշացու-
ման արագությունը, այսինքն՝ միավոր ժամանակում հեղուկից հեռացած մոլեկուլների
թիվը հեղուկի ջերմաստիճանի բարձրացման, նրա ազատ մակերևույթի մակերեսի մե-
ծացման և հեղուկի մակերևույթին արտաքին ճնշման փոքրացման հետ մեծանում է:
ծացման և հեղուկի մակերևույթին արտաքին ճնշման փոքրացման հետ մեծանում է:
Գոլորշացումը, ինչպես և խտացումը, կարող են ընթանալ տարբեր պայմաններում:
Եթե գոլորշացումը կատարվում է ադիաբատորեն, այսինքն՝ հեղուկը ջերմաքանակ չի
ստանում, ապա գոլորշացման պրոցեսում այն սառչում է, քանի որ համեմատաբար
մեծ կինետիկ էներգիաներով մոլեկուլների հեռանալու հետևանքով հեղուկի ներքին է-
ներգիան նվազում է: Որպեսզի գոլորշացման պրոցեսում հեղուկի ջերմաստիճանը մնա
հաստատուն, անհրաժեշտ է հեղուկին հաղորդել որոշակի էներգիա՝ համալրելու համար
նրա ներքին էներգիայի նվազումը: Այսպիսով՝ հանգում ենք հեղուկի շոգեգոյացման
տեսակարար ջերմության գաղափարին, որը ներմուծվել է ջերմադինամիկայում (§ 73):
Մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը հնարավորություն է տալիս բացահայտելու այդ
մեծության ֆիզիկական իմաստը:
Պարզենք, թե ինչի վրա է ծախսվում հեղուկին հաղորդված ջերմաքանակը: Հեղու-
կից դուրս թռչող մոլեկուլներն աշխատանք են կատարում հեղուկի մակերևութային շեր-
տում գտնվող մոլեկուլների ձգողության ուժերի հաղթահարման համար: Փաստորեն մո-
լեկուլների կինետիկ էներգիաների նվազման հաշվին մեծանում է մոլեկուլների փոխազ-
դեցության պոտենցիալ էներգիան, քանի որ գազային վիճակում մոլեկուլների միջին

հեռավորությունը շատ ավելի մեծ է, քան հեղուկում: Մյուս կողմից, հեղուկի մակերևույթին առկա ճնշման պայմաններում անհրաժեշտ է որոշ աշխատանք կատարել արտաքին ճնշման ուժերի դեմ, քանի որ գոլորշին շատ ավելի մեծ ծավալ է գրավում, քան նույն զանգվածով հեղուկը (նույն ջերմաստիճանում):

Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ հագեցած գոլորշու (տե՛ս § 79) խտությունը մեծանում է, դրա հետևանքով փոքրանում է մակերևութային շերտի մոլեկուլների ձգողության հաղթահարման և արտաքին ճնշման ուժերի դեմ կատարված աշխատանքը, ինչը բերում է շոգեգոյացման տեսակարար ջերմության նվազման:

Գոլորշու խտացման ժամանակ տեղի է ունենում հակառակ պրոցեսը: Հեղուկին մոտեցող մոլեկուլները արագացվում են մակերևութային շերտի մոլեկուլների կողմից ձգվելու և արտաքին ճնշման ուժերի շնորհիվ և ձեռք են բերում լրացուցիչ կինետիկ էներգիա, որը հավասար է գոլորշացման պրոցեսում ծախսված էներգիային, ուստի և հեղուկ են վերադառնում նույն կինետիկ էներգիայով, ինչ որ ունեին հեղուկից հեռանալիս: Արդյունքում խտացման ժամանակ անջատվում է ճիշտ նույնքան էներգիա, որքան կլանվել էր գոլորշացման պրոցեսում:

Գոլորշացումը բնության մեջ տեղի ունեցող վիճակի պրոցեսներից է` բնության մեջ ջրի շրջապտույտի հիմնական բաղադրիչը: Գնահատումների համաձայն` օվկիանոսների, ծովերի, լճերի, ջրամբարների և գետերի մակերևույթներից գոլորշացման արդյունքում 1 ժամում մոտ 67 կմ³ ջուր է անցնում մթնոլորտ (Սևանում պարունակվող ջրի քանակի կրկնապատիկը): Հսկայական քանակությամբ ջուր են գոլորշացնում նաև բույսերը: Գոլորշու խտացման հետևանքով նույն քանակությամբ ջուր է գոյանում, որը տեղումների տեսքով վերադառնում է Երկիր:

Գոլորշացման և խտացման պրոցեսները կարևորագույն դեր են կատարում երկրագնդի տարբեր վայրերում կլիմայի ձևավորման մեջ: Գոլորշացումը և խտացումը լայնորեն կիրառվում են տեխնիկայում (կերոսինի, բենզինի և այլ նյութերի, գազերի հեղուկայում և այլն), արդյունաբերության մեջ և կենցաղում (օրինակ` սառնարաններում):

Գոլորշանալ կարող են նաև պինդ մարմինները: Օրինակ` բրդե իրերի վրա ցանված նավթալինի կտորները ժամանակի ընթացքում փոքրանում են: Նյութի անցումը պինդ վիճակից գազայինի կոչվում է *ընդում (սուբլիմում)*:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է շոգեգոյացումը, և ի՞նչ ձևով է այն ընթանում:*
2. *Ի՞նչ է գոլորշացումը:*
3. *Ինչպե՞ս է կախված գոլորշացման արագությունը ջերմաստիճանից:*
4. *Ինչպե՞ս է կախված գոլորշացման արագությունը հեղուկի ազատ մակերևույթի մակերեսից:*
5. *Ո՞ր պրոցեսն է կոչվում խտացում:*
6. *Ի՞նչ է ընդումը (սուբլիմումը):*
7. *Ինչու՞ է բաց սպիտակեղենը քամոտ եղանակին ավելի արագ չորանում:*
8. *Տվե՛ք հեղուկի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմության մոլեկուլային մեկնաբանումը:*
9. *Ինչպե՞ս է կախված հեղուկի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը ջերմաստիճանից:*
10. *Ինչու՞ միևնույն պայմաններում սպիրտը կամ բենզինն ավելի արագ են գոլորշանում, քան ջուրը:*
11. *Ինչու՞ է գոլորշացման ժամանակ հեղուկի ջերմաստիճանն իջնում, երբ դրան ջերմաքանակ չի հաղորդվում:*

§ 79. Հագեցած գոլորշի: Հագեցած գոլորշու հատկությունները

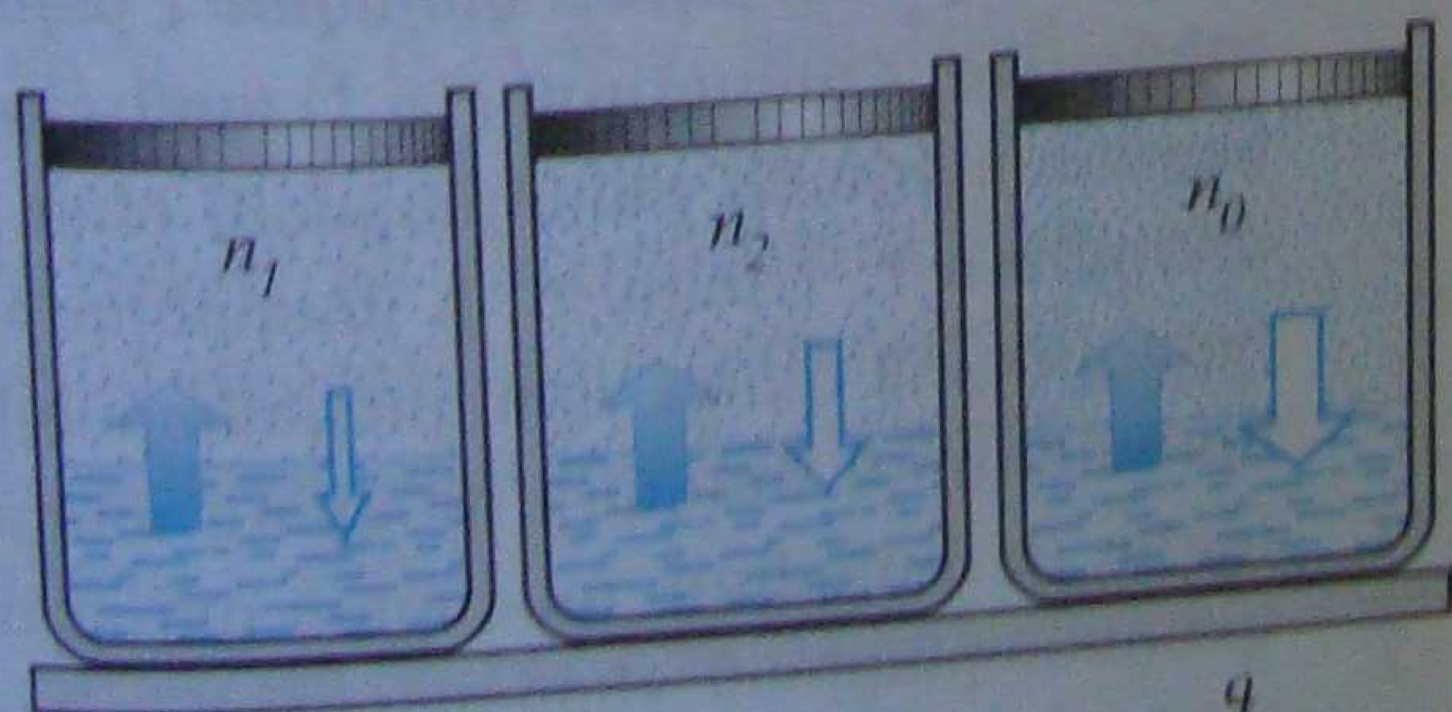
Եթե հեղուկով մասամբ լցված անոթը փակենք, ապա նրանում հեղուկի նվազման պրոցեսը շուտով կդադարի (նկ. 178), և հեղուկից ու գոլորշուց բաղկացած համակարգն այնուհետև կմնա անփոփոխ՝ հավասարակշռական վիճակում, եթե համակարգի ջերմաստիճանը մնացել է անփոփոխ: Հավասարակշռական վիճակին (նկ. 178,*գ*) համակարգը գալիս է հետևյալ եղանակով:

Անոթը փակելուց անմիջապես հետո (նկ. 178,*ա*), հեղուկի գոլորշացման հետևանքով, հեղուկից ազատ ծավալում գոլորշու կոնցենտրացիան կսկսի մեծանալ, ինչը կհանգեցնի գոլորշուց հեղուկ վերադարձող մոլեկուլների հոսքի մեծացման: Քանի դեռ գոլորշուց հեղուկ անցնող մոլեկուլների թիվն անփոփոխ ջերմաստիճանի ($T = const$) դեպքում փոքր է նույն ժամանակում հեղուկից գոլորշի անցնող մոլեկուլների թվից, գոլորշու կոնցենտրացիան կմեծանա (նկ. 178, *ա,բ,գ* -ում հեղուկից գոլորշի ուղղված սլաքը): Գոլորշու կոնցենտրացիայի որոշակի n_0 արժեքի դեպքում գոլորշուց դեպի հեղուկ ուղղված հոսքը կհավասարվի հեղուկից դեպի գոլորշի ուղղված հոսքին: Այդ պահից սկսած՝ և՛ հեղուկի զանգվածը, և՛ գոլորշու զանգվածը կմնան անփոփոխ: Ի տարբերություն մեխանիկական հավասարակշռության՝ հեղուկի և գոլորշու միջև հաստատված հավասարակշռությունն ընդունված է անվանել ***շարժուն (դինամիկ)***, քանի որ այն հավասար արագություններով և հակառակ ուղղություններով ընթացող երկու պրոցեսների՝ գոլորշացման և խտացման արդյունք է:

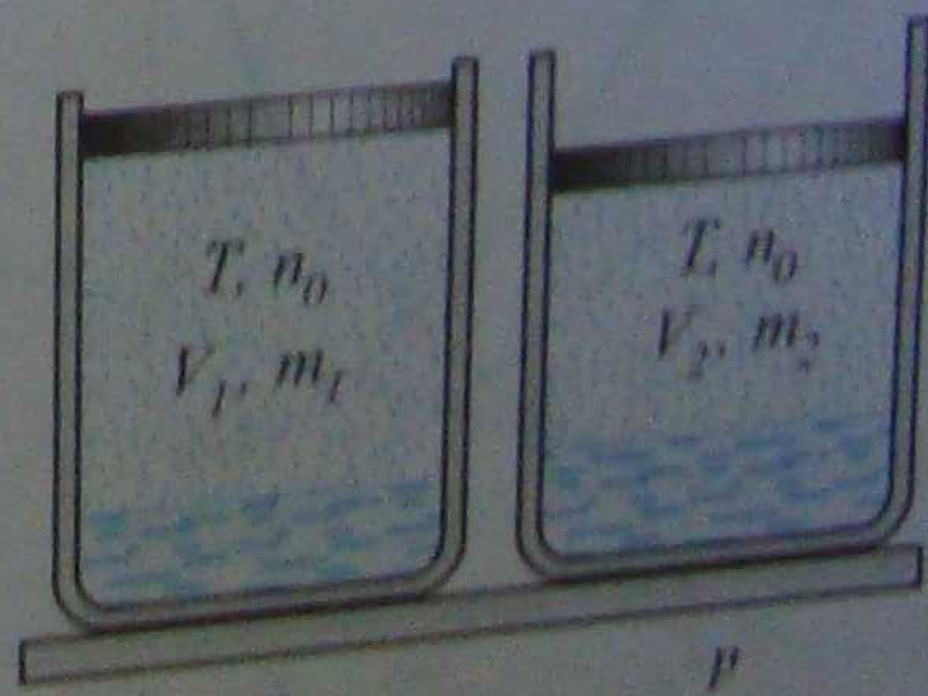
Այն գոլորշին, որն իր հեղուկի հետ գտնվում է շարժուն հավասարակշռության մեջ, կոչվում է հագեցած: Տրված ծավալում, տրված ջերմաստիճանում գոլորշու ավելի մեծ քանակ գտնվել չի կարող:

Եթե մեծացնենք գոլորշու զբաղեցրած ծավալը, ապա գոլորշու կոնցենտրացիան կփոքրանա, ուստի կփոքրանա նաև գոլորշուց հեղուկ վերադարձող մոլեկուլների հոսքը: Գոլորշու և հեղուկի միջև շարժուն հավասարակշռությունը կխախտվի, և հեղուկից դեպի գոլորշի հոսքի շնորհիվ (որը մնացել է անփոփոխ, քանի որ $T = const$) գոլորշու կոնցենտրացիան կմեծանա՝ ի վերջո հասնելով մինչև ծավալի մեծացնելը գոլորշու ունեցած n_0 կոնցենտրացիայի (նկ. 179,*ա*):

Եթե հագեցած գոլորշու զբաղեցրած ծավալը փոքրացվի, ապա նրա կոնցենտրացիան կմեծանա, և գոլորշուց ավելի շատ մոլեկուլներ կանցնեն հեղուկ, քան կհեռանան նրանից: Արդյունքում գոլորշու կոնցենտրացիան կփոքրանա և կհավասարվի n_0 հավասարա-



Նկ. 178



Նկ. 179

§ 79. Հագեցած գոլորշի: Հագեցած գոլորշու հատկությունները

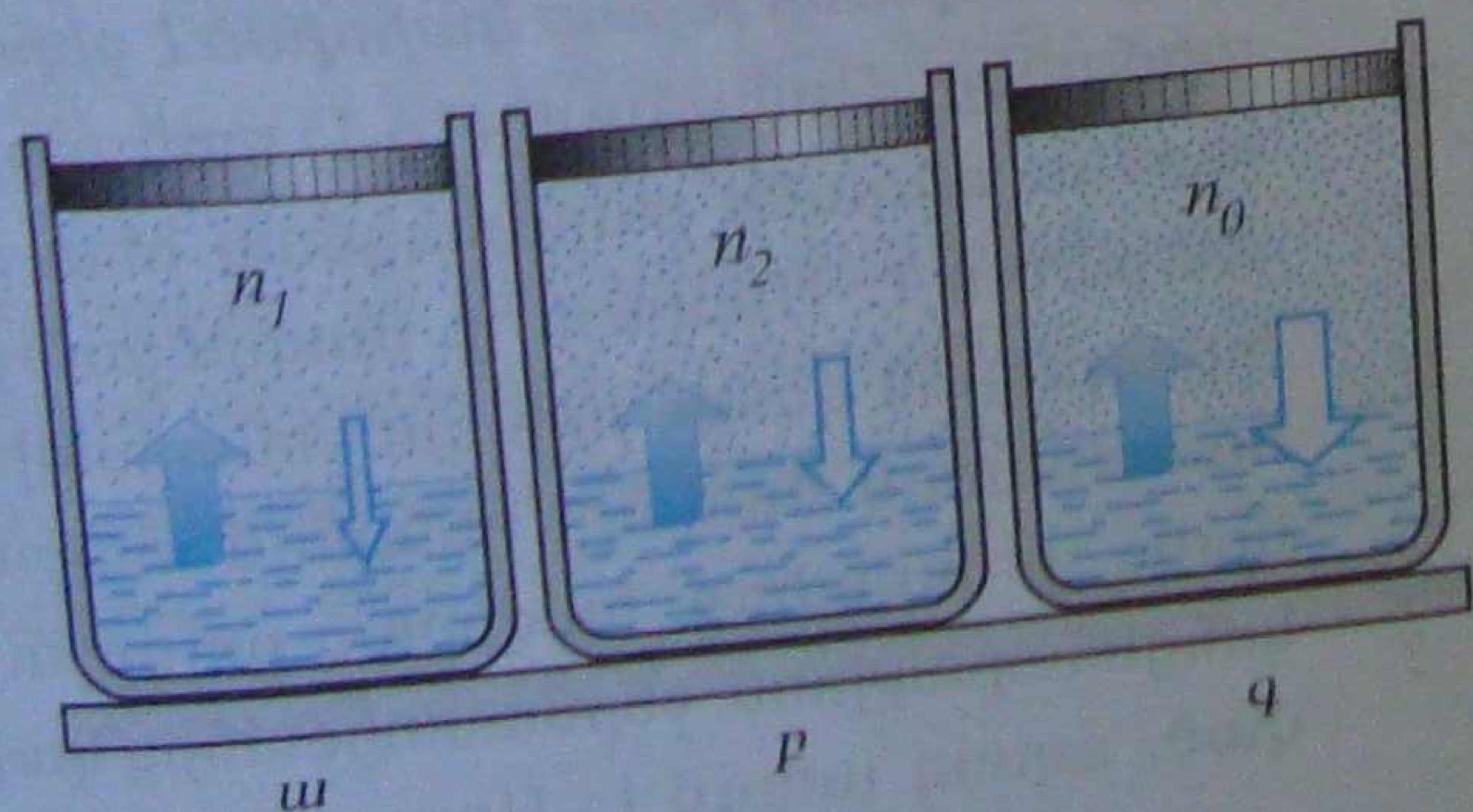
Եթե հեղուկով մասամբ լցված անոթը փակենք, ապա նրանում հեղուկի նվազման պրոցեսը շուտով կդադարի (նկ. 178), և հեղուկից ու գոլորշուց բաղկացած համակարգն այնուհետև կմնա անփոփոխ՝ հավասարակշռական վիճակում, եթե համակարգի ջերմաստիճանը մնացել է անփոփոխ: Հավասարակշռական վիճակին (նկ. 178,գ) համակարգը գալիս է հետևյալ եղանակով:

Անոթը փակելուց անմիջապես հետո (նկ. 178,ա), հեղուկի գոլորշացման հետևանքով, հեղուկից ազատ ծավալում գոլորշու կոնցենտրացիան կսկսի մեծանալ, ինչը կհանգեցնի գոլորշուց հեղուկ վերադարձող մոլեկուլների հոսքի մեծացման: Քանի դեռ գոլորշուց հեղուկ անցնող մոլեկուլների թիվն անփոփոխ ջերմաստիճանի ($T = const$) դեպքում փոքր է նույն ժամանակում հեղուկից գոլորշի անցնող մոլեկուլների թվից, գոլորշու կոնցենտրացիան կմեծանա (նկ. 178, ա,բ,գ -ում հեղուկից գոլորշի ուղղված սլաքը): Գոլորշու կոնցենտրացիայի որոշակի n_0 արժեքի դեպքում գոլորշուց դեպի հեղուկ ուղղված հոսքը կհավասարվի հեղուկից դեպի գոլորշի ուղղված հոսքին: Այդ պահից սկսած՝ և՛ հեղուկի զանգվածը, և՛ գոլորշու զանգվածը կմնան անփոփոխ: Ի տարբերություն մեխանիկական հավասարակշռության՝ հեղուկի և գոլորշու միջև հաստատված հավասարակշռությունն ընդունված է անվանել *շարժուն* (*դինամիկ*), քանի որ այն հավասար արագություններով և հակառակ ուղղություններով ընթացող երկու պրոցեսների՝ գոլորշացման և խտացման արդյունք է:

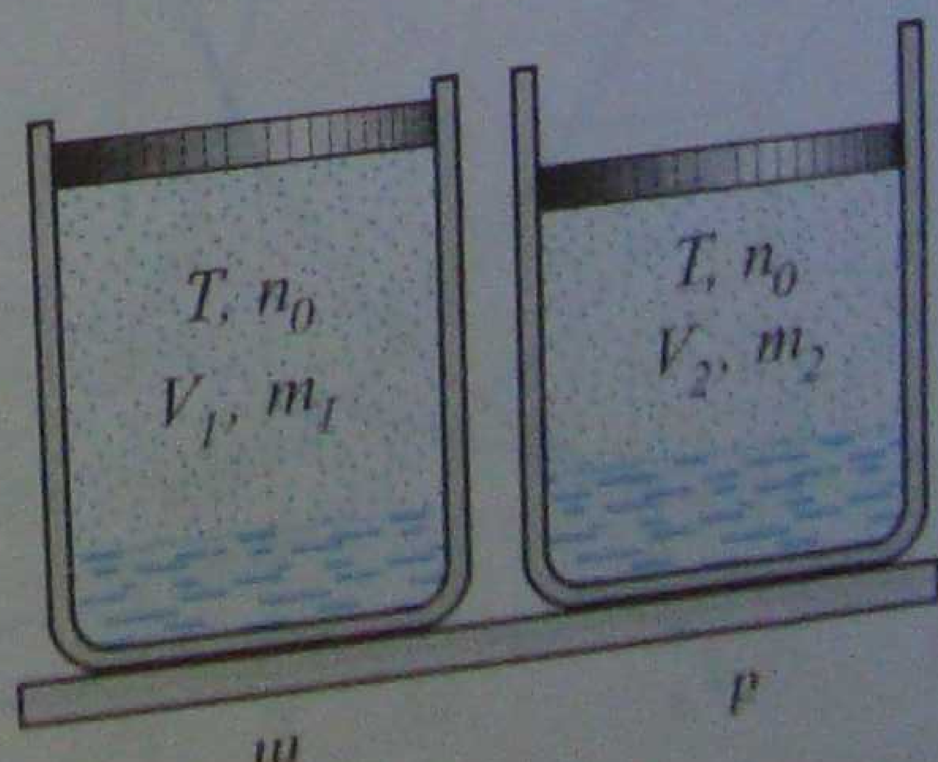
Այն գոլորշին, որն իր հեղուկի հետ գտնվում է շարժուն հավասարակշռության մեջ, կոչվում է հագեցած: Տրված ծավալում, տրված ջերմաստիճանում գոլորշու ավելի մեծ քանակ գտնվել չի կարող:

Եթե մեծացնենք գոլորշու զբաղեցրած ծավալը, ապա գոլորշու կոնցենտրացիան կփոքրանա, ուստի կփոքրանա նաև գոլորշուց հեղուկ վերադարձող մոլեկուլների հոսքը: Գոլորշու և հեղուկի միջև շարժուն հավասարակշռությունը կխախտվի, և հեղուկից դեպի գոլորշի հոսքի շնորհիվ (որը մնացել է անփոփոխ, քանի որ $T = const$) գոլորշու կոնցենտրացիան կմեծանա՝ ի վերջո հասնելով մինչև ծավալի մեծացնելը գոլորշու ունեցած n_0 կոնցենտրացիային (նկ. 179,ա):

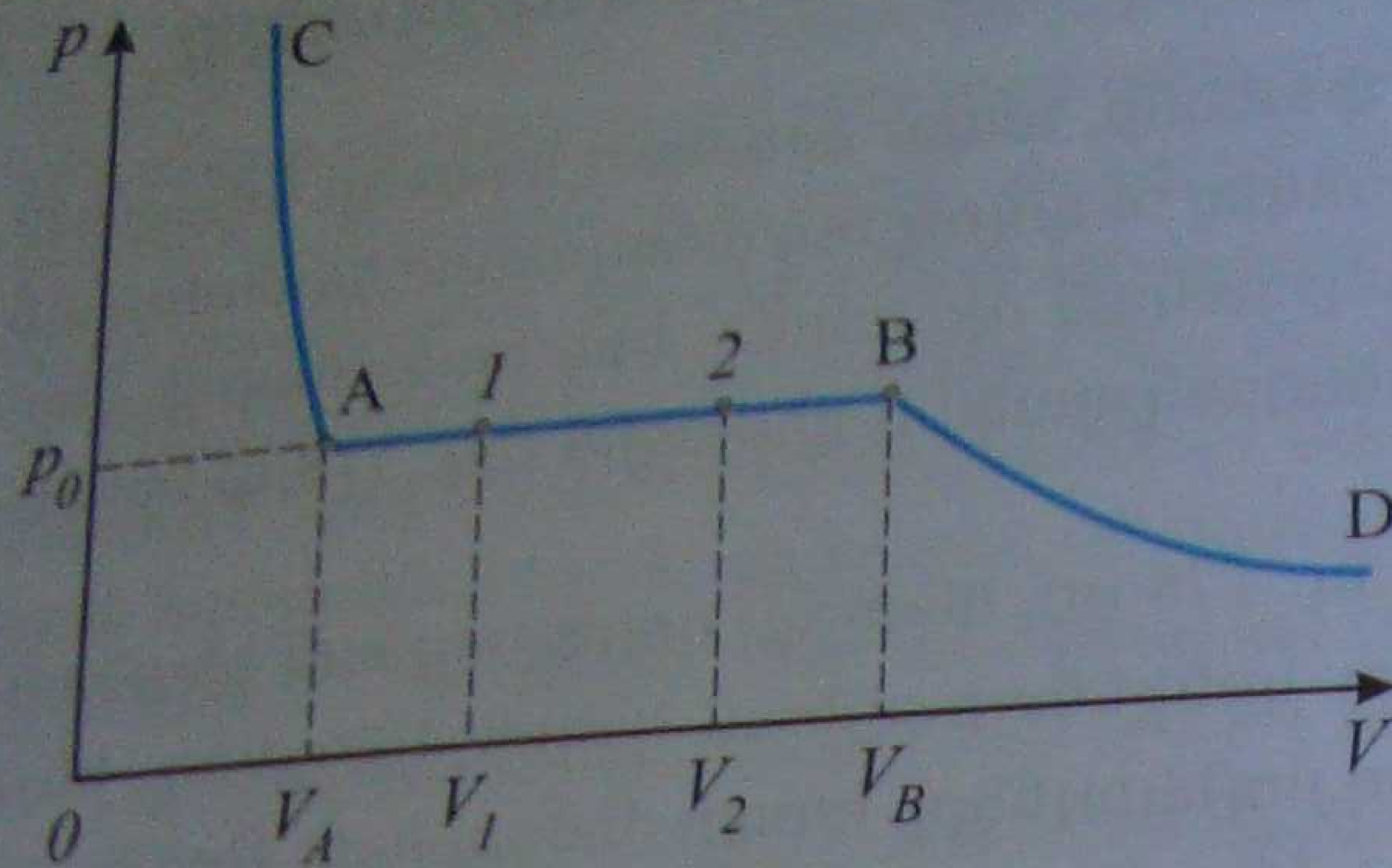
Եթե հագեցած գոլորշու զբաղեցրած ծավալը փոքրացվի, ապա նրա կոնցենտրացիան կմեծանա, և գոլորշուց ավելի շատ մոլեկուլներ կանցնեն հեղուկ, քան կհեռանան նրանից: Արդյունքում գոլորշու կոնցենտրացիան կփոքրանա և կհավասարվի n_0 հավասարա-



Նկ. 178



Նկ. 179



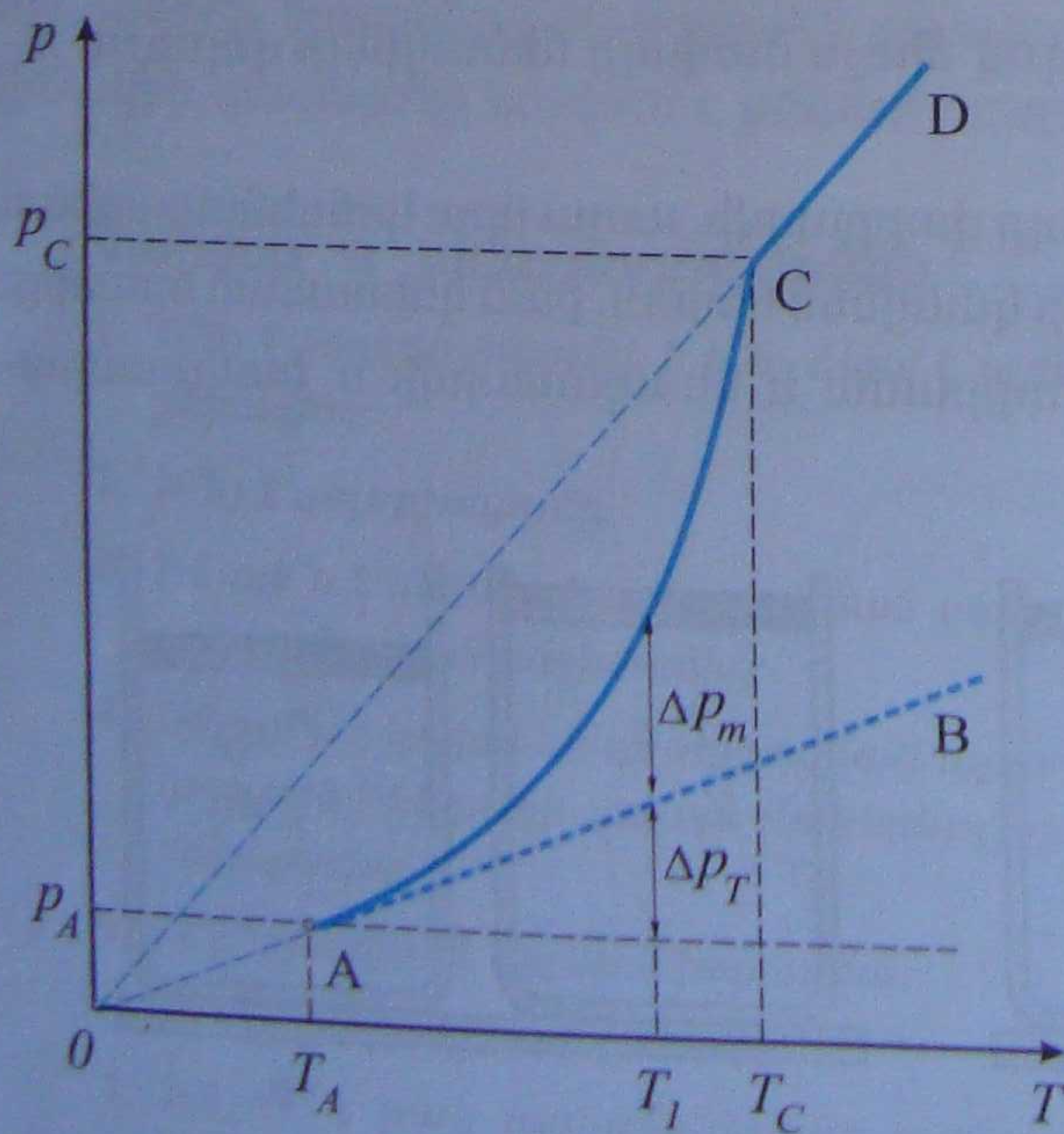
Նկ. 180

կշռական արժեքին (նկ. 179,բ): Շարժուն հավասարակշռության խախտումը հանգեցնում է գոլորշու զանգվածի փոփոխման, ինչն էլ ծավալի փոփոխման հետ ապահովում է գոլորշու կոնցենտրացիայի հաստատունությունը տրված ջերմաստիճանում: Այսպիսով՝ ***հագեցած գոլորշու ճնշումը կախված չէ նրա ծավալից:***

Իր հեղուկի հետ շարժուն հավասարակշռության մեջ չգտնվող գոլորշին կոչվում է ***չհագեցած***: Հեղուկի ազատ մակերևույթի մոտ գոլորշին կլինի չհագեցած, եթե գոլորշացումն ավելի արագ է ընթանում, քան խտացումը: Հետևաբար, չհագեցած գոլորշու կոնցենտրացիան ավելի փոքր է, քան հագեցածինը: Եթե հագեցած գոլորշին դիտենք որպես n_0 կոնցենտրացիայով իդեալական գազ, ապա, համաձայն մոլեկուլա-յին-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարման, նրա ճնշումը՝

$$p_0 = n_0 k_B T, \tag{16.1}$$

որտեղից հետևում է հագեցած գոլորշու ճնշման անկախությունը գոլորշու ծավալից: Նկ. 180-ում պատկերված է «հեղուկ-գոլորշի» համակարգում ճնշման կախումը ծավալից հաստատուն ջերմաստիճանում: $0V_A$ հատվածը համապատասխանում է հեղուկ վիճակին (ծավալի փոքրացման հետ ճնշման կտրուկ աճը ներկայացնող AC կորը նկարագրում է հեղուկի փոքր սեղմելիությունը): AB հատվածը համապատասխանում է շարժուն հավասարակշռության վիճակին, ընդ որում, որքան համակարգի ծավալը մոտ է V_B-ին, այնքան մեծ է գոլորշու զանգվածը (1-ին վիճակում այն ավելի փոքր է, քան 2-րդ վիճակում՝ $m_1 < m_2$): B վիճակում ամբողջ հեղուկը գոլորշացած է: Ծավալի հետագա մեծացումը հանգեցնում է չհագեցած գոլորշու ճնշման նվազման ըստ Բոյլ-Մարիոտի օրենքի ($T = const$, $m = const$, $p \sim V^{-1}$, որին նկ. 180-ում համապատասխանում է գրաֆիկի BD տեղամասը):



Նկ. 181

Այժմ համոզվենք, որ ***հագեցած գոլորշու ճնշումը խիստ կախված է ջերմաստիճանից***: Համաձայն (16.1) առնչության՝ ջերմաստիճանի բարձրացման հետ p_0-ն մեծանում է: Սակայն, ի տարբերություն իդեալական գազի, որի կոնցենտրացիան հաստատուն ծավալի դեպքում տաքացնելիս չի փոխվում, հագեցած գոլորշու n_0 կոնցենտրացիան, ջերմաստիճանից կախված, արագ աճում է: Արդյունքում p_0-ն,

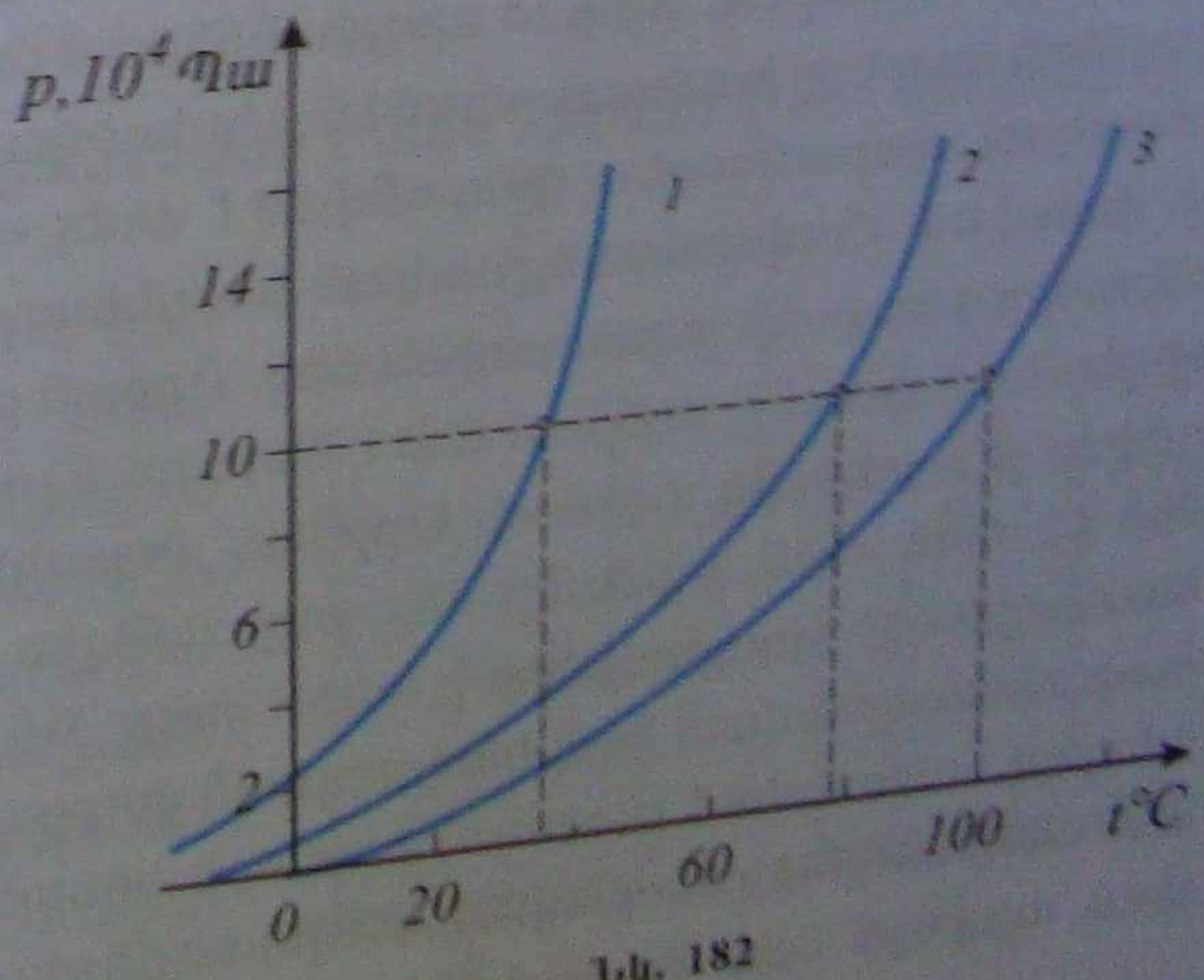
ջերմաստիճանից կախված, աճում է ավելի մեծ չափով, քան իդեալական գազի ճնշումը: Նկ. 181-ում պատկերված են ճնշման՝ ջերմաստիճանից կախման գրաֆիկները իդեալական գազի (AB ուղիղը) և գոլորշու համար (ACD գիծը), որոնց սկզբնական վիճակները համընկնում են (A կետ): Ջերմաստիճանի $\Delta T = T_1 - T_0$ աճին համապատասխանում է իդեալական գազի ճնշման Δp_1 աճը, իսկ հագեցած գոլորշու ճնշման $\Delta p_1 + \Delta p_n$ աճը, որտեղ Δp_n-ը հետևանք է հագեցած գոլորշու կոնցենտրացիայի մեծացման: T_C ջերմաստիճանում ամբողջ հեղուկը գոլորշիացել է: Եթե ջերմաստիճանը շարունակենք բարձրացնել, ապա գոլորշու ճնշումը կմեծանա T-ին ուղիղ համեմատականորեն, քանի որ գոլորշու կոնցենտրացիան մնում է հաստատուն: CD ուղիղը նկարագրում է հաստատուն զանգվածով չհագեցած գոլորշու ճնշման կախումը ջերմաստիճանից (նրա շարունակությունը՝ CO ուղիղը, ինչպես և իդեալական գազի ցանկացած իզոխոր, անցնում է կոորդինատների սկզբնակետով):

Հագեցած գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային վարքը կարելի է բացատրել մոլեկուլային-կինետիկ տեսությամբ, որի համաձայն գազի ճնշումը գազի մոլեկուլների կողմից անոթի պատի միավոր մակերեսին միավոր ժամանակում տրված իմպուլսն է:

Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս աճում է մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան, որը, ինչպես գիտենք, համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին:

Սակայն հագեցած գոլորշու դեպքում ջերմաստիճանի աճը հիմնականում ուղեկցվում է գոլորշու զանգվածի, ուստի և (տրված ծավալի դեպքում) նրա կոնցենտրացիայի աճով, քանի որ գազի ճնշումը համեմատական է կոնցենտրացիային (տե՛ս § 70), ընդ որում, ճնշման մեջ կոնցենտրացիայով պայմանավորված ներդրումը, ջերմաստիճանից կախված, զգալիորեն ավելի արագ է աճում, քան մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիայով պայմանավորված ներդրումը:

Հագեցած գոլորշու ճնշումը կախված է նաև հեղուկի տեսակից: Իրոք, ըստ (16.1) բանաձևի՝ $p_0 \sim n_0$, իսկ n_0-ն համեմատական է միավոր ժամանակամիջոցում հեղուկից հեռացող մոլեկուլների թվին: Տրված ջերմաստիճանում հեղուկից հեռացող մոլեկուլների թիվը կախված է հեղուկի մոլեկուլների փոխադարձ ձգողության ուժերից: Որքան թույլ են այդ ուժերը, այնքան ավելի շատ մոլեկուլներ կարող են հեռանալ հեղուկից, ուստի այնքան ավելի մեծ կլինեն n_0 կոնցենտրացիան և հագեցած գոլորշու p_0 ճնշումը: Այսպես, օրինակ, 20°C ջերմաստիճանում սնդիկի հագեցած գոլորշիների ճնշումը՝ $p_{0\,սնդ} = 0{,}24$ Պա, իսկ ֆրեոնինը՝ $p_{0\,ֆ} = 5{,}7\cdot10^5$ Պա: Նկ. 182-ում պատկերված են մի քանի նյութերի հագեցած գոլորշիների ջերմաստիճանային կախման գրաֆիկները (1՝ եթեր, 2՝ սպիրտ, 3՝ ջուր):



Նկ. 182

ջերմաստիճանից կախված, աճում է ավելի մեծ չափով, քան իդեալական գազի ճնշումը:

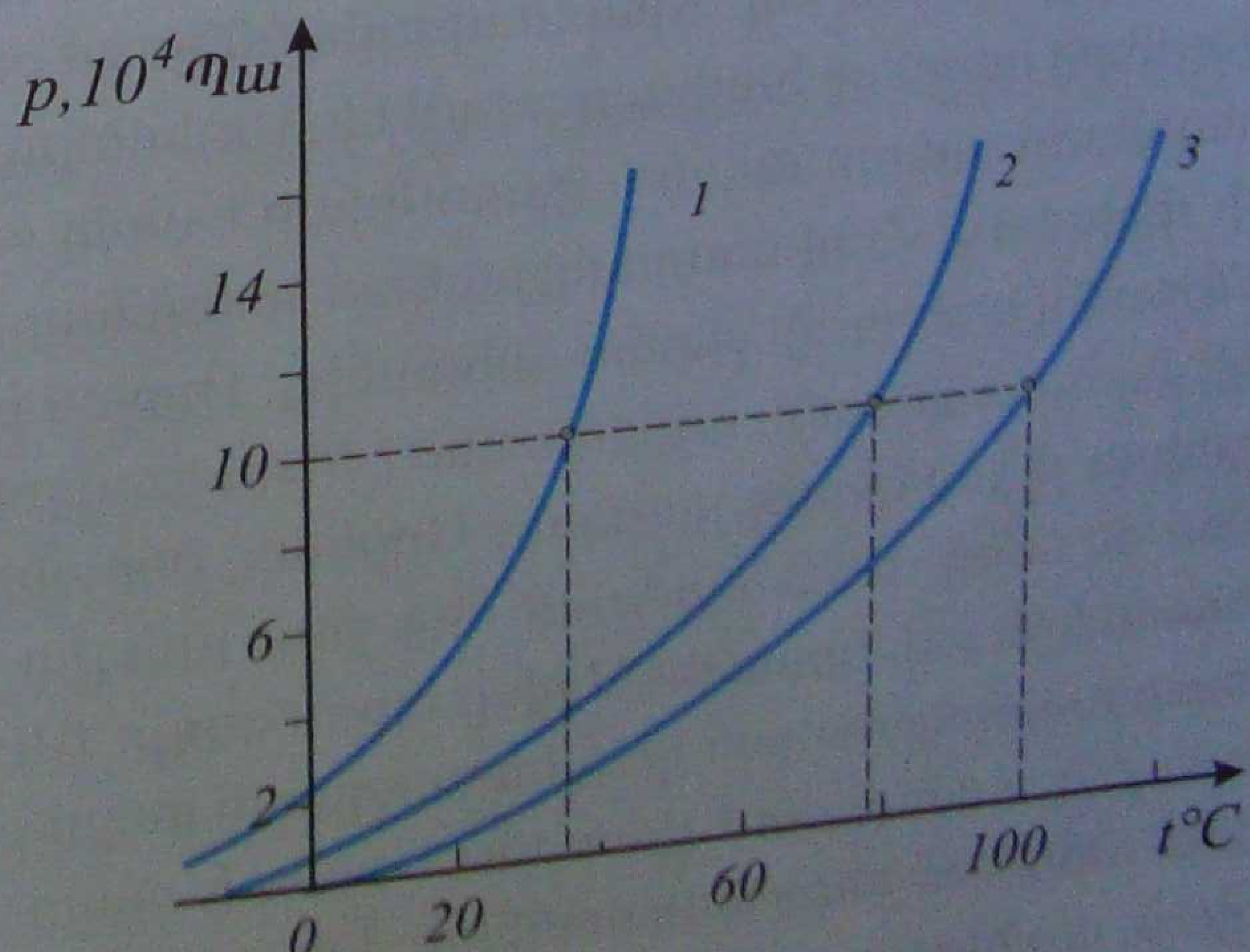
Նկ. 181-ում պատկերված են ճնշման՝ ջերմաստիճանից կախման գրաֆիկներն իդեալական գազի (AB ուղիղը) և գոլորշու համար (ACD գիծը), որոնց սկզբնական վիճակները համընկնում են (A կետ): Ջերմաստիճանի $\Delta T = T_1 - T_A$ աճին համապատասխանում է իդեալական գազի ճնշման Δp_T աճը, իսկ հագեցած գոլորշու ճնշման $\Delta p_T + \Delta p_m$ աճը, որտեղ Δp_m-ը հետևանք է հագեցած գոլորշու կոնցենտրացիայի մեծացման: T_C ջերմաստիճանում ամբողջ հեղուկը գոլորշացել է: Եթե ջերմաստիճանը շարունակենք բարձրացնել, ապա գոլորշու ճնշումը կմեծանա T-ին ուղիղ համեմատականորեն, քանի որ գոլորշու կոնցենտրացիան մնում է հաստատուն: CD ուղիղը նկարագրում է հաստատուն զանգվածով չհագեցած գոլորշու ճնշման կախումը ջերմաստիճանից (նրա շարունակությունը՝ CO ուղիղը, ինչպես և իդեալական գազի համապատասխան իզոխոր, անցնում է կոորդինատների սկզբնակետով):

Հագեցած գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային վարքը կարելի է բացատրել մոլեկուլային-կինետիկ տեսությամբ, որի համաձայն գազի ճնշումը գազի մոլեկուլների կողմից անոթի պատի միավոր մակերեսին միավոր ժամանակում տրված իմպուլսն է:

Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս աճում է մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան, որը, ինչպես գիտենք, համեմատական է բացարձակ ջերմաստիճանին:

Սակայն հագեցած գոլորշու դեպքում ջերմաստիճանի աճը հիմնականում ուղեկցվում է գոլորշու զանգվածի, ուստի և (տրված ծավալի դեպքում) նրա կոնցենտրացիայի աճով, քանի որ գազի ճնշումը համեմատական է կոնցենտրացիային (տե՛ս § 70), ընդ որում, ճնշման մեջ կոնցենտրացիայով պայմանավորված ներդրումը, ջերմաստիճանից կախված, զգալիորեն ավելի արագ է աճում, քան մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիայով պայմանավորված ներդրումը:

Հագեցած գոլորշու ճնշումը կախված է նաև հեղուկի տեսակից: Իրոք, ըստ (16.1) բանաձևի՝ $p_0 \sim n_0$, իսկ n_0-ն համեմատական է միավոր ժամանակամիջոցում հեղուկից գոլորշի անցնող մոլեկուլների թվին: Տրված ջերմաստիճանում հեղուկից հեռացող մոլեկուլների թիվը կախված է հեղուկի մոլեկուլների փոխադարձ ձգողության ուժերից: Որքան թույլ են այդ ուժերը, այնքան ավելի շատ մոլեկուլներ կարող են հեռանալ հեղուկից, ուստի այնքան ավելի մեծ կլինեն n_0 կոնցենտրացիան և հագեցած գոլորշու p_0 ճնշումը: Այսպես, օրինակ, 20°C ջերմաստիճանում սնդիկի հագեցած գոլորշիների ճնշումը՝ $p_{0սնդ} = 0{,}24$ Պա, իսկ ֆրեոնինը՝ $p_{0ֆ} = 5{,}7 \cdot 10^5$ Պա: Նկ. 182-ում պատկերված են մի քանի նյութերի հագեցած գոլորշիների ջերմաստիճանային կախման գրաֆիկները (1՝ եթեր, 2՝ սպիրտ, 3՝ ջուր):



Նկ. 182

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր գոլորշին է կոչվում հագեցած:*
2. *Ո՞ր գոլորշին է կոչվում չհագեցած:*
3. *Կախվա՞ծ է արդյոք հագեցած գոլորշու ճնշումը նրա ծավալից, երբ T = const:*
4. *Ինչու՞ հագեցած գոլորշու ճնշումը ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց ավելի շատ է աճում, քան նույն պայմաններում իդեալական գազի ճնշումը:*
5. *Տվե՛ք շարժուն (դինամիկ) հավասարակշռության բացատրությունը ըստ մոլեկուլային-կինետիկ տեսության:*
6. *Ե՞րբ փակ անոթում գտնվող գոլորշին կլինի հագեցած:*
7. *Ի՞նչ կարելի է ասել հագեցած և չհագեցած գոլորշիների կոնցենտրացիաների մասին:*
8. *Ինչո՞վ է պայմանավորված նկ.181-ում ճնշման կտրուկ աճը ծավալը փոքրացնելիս:*
9. *Որակապես բացատրել հագեցած գոլորշու ճնշման՝ հեղուկի տեսակից ունեցած կախումը:*
10. *Ենթարկվու՞մ է արդյոք հագեցած գոլորշին Բոյլ-Մարիոտի օրենքին:*

§ 80. Եռում: Եռման ջերմաստիճան

Մենք ուսումնասիրեցինք շոգեգոյացման եղանակներից մեկի՝ գոլորշացման երևույթի օրինաչափությունները: Այժմ անցնենք առօրյա կյանքից մեզ քաջ ծանոթ եռման (շոգեգոյացման երկրորդ եղանակի) օրինաչափությունների ուսումնասիրությանը: Հեղուկի գոլորշացումը բաց անոթից տեղի է ունենում ցանկացած ջերմաստիճանում, իսկ նույն բաց անոթում հեղուկը եռում է միայն խիստ որոշակի ջերմաստիճանում: Շոգեգոյացման այս երկու եղանակների արտաքին տարբերությունը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ եռման պրոցեսն ուղեկցվում է հեղուկի ողջ ծավալում պղպջակների առաջացմամբ, որոնք լողում են դեպի հեղուկի մակերևույթ: Սակայն հեղուկի՝ գոլորշու վերածվելը գոլորշացման և եռման պրոցեսներում ունի նույն ծագումը:

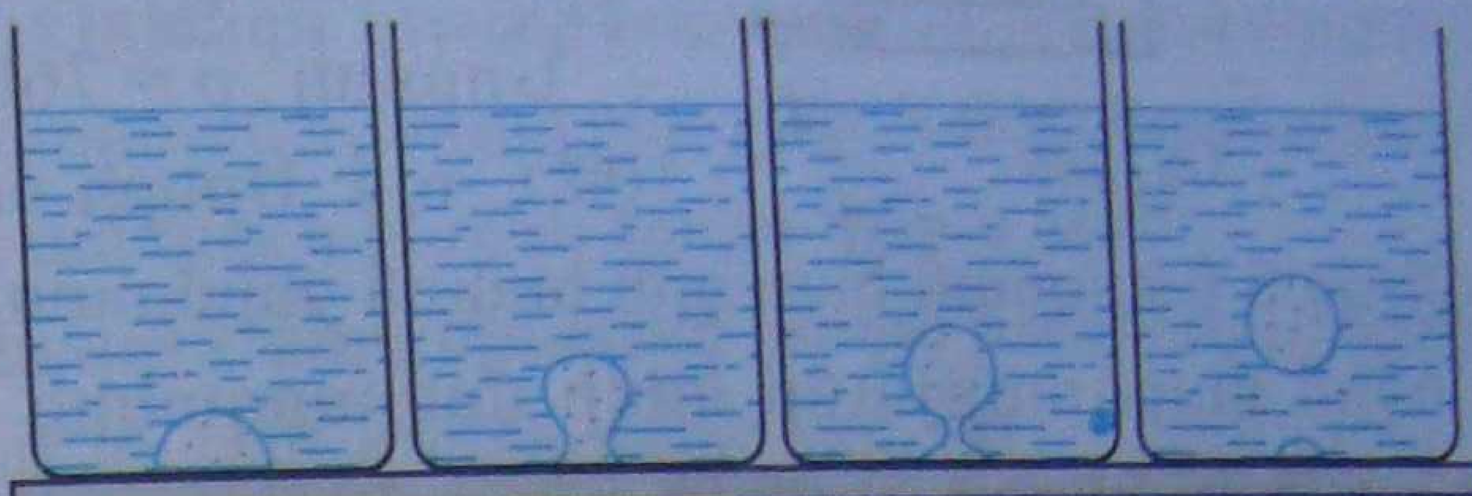
Անցնենք եռման պրոցեսի ուսումնասիրությանը:

Նախ՝ որտեղի՞ց են հայտնվում պղպջակները հեղուկում:

Դիֆուզիայի հետևանքով օդի (կամ հեղուկի հետ շփվող գազի) մոլեկուլները թափանցում են հեղուկ: Քաոսային շարժման արդյունքում դրանց մի մասը կարող է նորից հեղուկից անցնել օդ: Տրված պայմաններում օդից հեղուկ և հեղուկից օդ անցնող մոլեկուլների հոսքերը հավասարվում են: Ստեղծվում է շարժուն հավասարակշռություն, երբ հեղուկում պարունակվող (ընդունված է ասել «լուծված») օդի կոնցենտրացիան այլևս չի փոխվում: Հավասարակշռական կոնցենտրացիան կախված է հեղուկի վրա գազի ճնշումից և հեղուկի ջերմաստիճանից: Որքան բարձր է ճնշումը և որքան ցածր է հեղուկի ջերմաստիճանը, այնքան մեծ է հեղուկում լուծված օդի կոնցենտրացիան: Դրանում դժվար չէ համոզվել փորձով: Օրինակ՝ ծորակից (ջրմուղից), որտեղ ջուրը գտնվում է մեծ ճնշման տակ, բաժակի մեջ ջուր լցնելիս հեշտ է տեսնել բաժակի պատերին և հատակին օդի պղպջակների ի հայտ գալը: Ճնշման նվազման արդյունքում ջրում օդի հավասարակշռական կոնցենտրացիան փոքրանում է, և «ավելորդ» օդը պղպջակների տեսքով անջատվում (նստում) է անոթի պատերին: Նույն երևույթն է տեղի ունենում նաև անոթում ջուրը տաքացնելիս: Տրված ճնշման դեպքում պղպջակի չափերը չեն փոխվում, այսինքն՝ նրա ներսում ճնշումը հավասար է դրսից ազդող ճնշմանը: Ջերմաստի-

ճանի աճին զուգընթաց պղպջակն աստիճանաբար մեծանում է, ընդ որում, նրանում ճնշումը գործնականորեն մնում է հավասար հեղուկ շրջապատի ճնշմանը: Պղպջակում ճնշման հաստատուն մնալը հետևանք է նրանում հագեցած գոլորշու առկայության, որի ճնշումը կախված չէ նրա զբաղեցրած ծավալից:

Պղպջակի ծավալի մեծացման հետ հեղուկի կողմից նրա վրա ազդող արտամղող (արքիմեդյան) ուժը ձգտում է պղպջակը պոկել անոթի պատից: Պղպջակը ձգվում է, նրան պատին միացնող միջակայքը նեղանում և ի վերջո խզվում է՝ իր տեղում թողնելով օդի փոքր քանակ, որից ժամանակի ընթացքում նոր պղպջակ է գոյանում: Նկ. 183-ում պատկերված է ջերմաստիճանի բարձրացման հետ պղպջակի տեսքի փոփոխությունը:



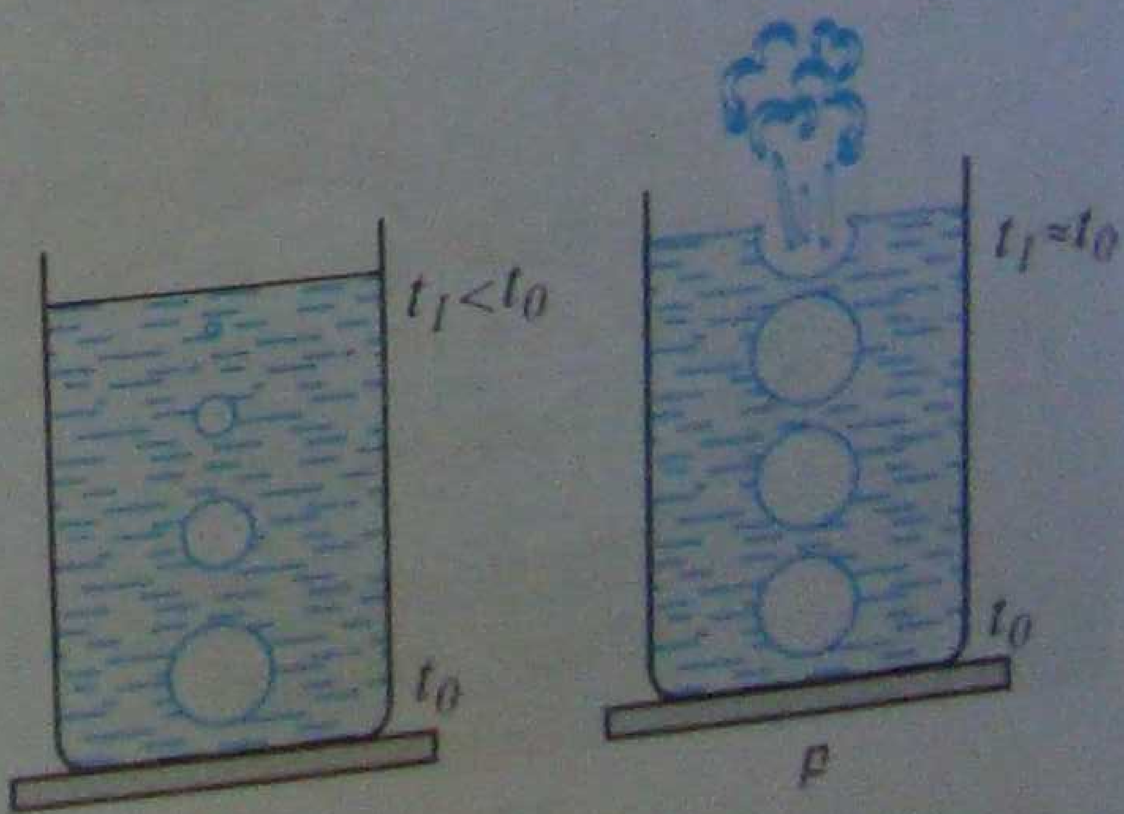
Նկ. 183

Պրոցեսի սկզբնական փուլում տաքացվող հեղուկի ստորին շերտերի ջերմաստիճանը զգալիորեն բարձր է վերին շերտերի ջերմաստիճանից: Վեր լողացող պղպջակում, ջերմաստիճանի անկման հետ, հագեցած գոլորշու ճնշումը կտրուկ փոքրանում է, ուստի պղպջակն արագ սեղմվում է, և այն կարող է դառնալ անգամ անտեսանելի (նկ. 184,*ա*): Պղպջակների մեծանալը և ապա փոքրանալն ուղեկցվում են ձայնային «աղմուկով»՝ յուրահատուկ խշշոցով, որը լսվում է նախքան հեղուկի եռալը: Ի վերջո, երբ հեղուկն ամբողջությամբ տաքանում է, դեպի վեր շարժվող պղպջակներն այլևս չեն փոքրանում, այլ որոշ չափով մեծանում են (հեղուկի սյան հիդրոստատիկ ճնշման աննշան նվազման պատճառով): Հասնելով հեղուկի ազատ մակերևույթին՝ նրանք պայթում են՝ իրենց պարունակած գոլորշին դուրս նետելով օդի մեջ: Սկսվում է հեղուկի եռալը: Եռման պրոցեսում անոթի հատակին առաջացող պղպջակներում ճնշումն այնպիսին է, որ նրանք կարողանում են ընդարձակվել՝ հաղթահարելով հեղուկի մակերևույթին առկա և հեղուկի սյան գումարային ճնշումը: Այսպիսով՝ ***եռումը տեղի է ունենում մի ջերմաստիճանում, երբ հեղուկի հագեցած գոլորշիների ճնշումը հավասարվում է արտաքին (հեղուկի մակերևույթին գործող) ճնշմանը***՝

$$p_h(t_0) = p, \qquad (16.2)$$

որտեղ t_0-ն եռման ջերմաստիճանն է (ընդունված է նաև «եռման կետ» անվանումը), իսկ p-ն՝ արտաքին ճնշումը:

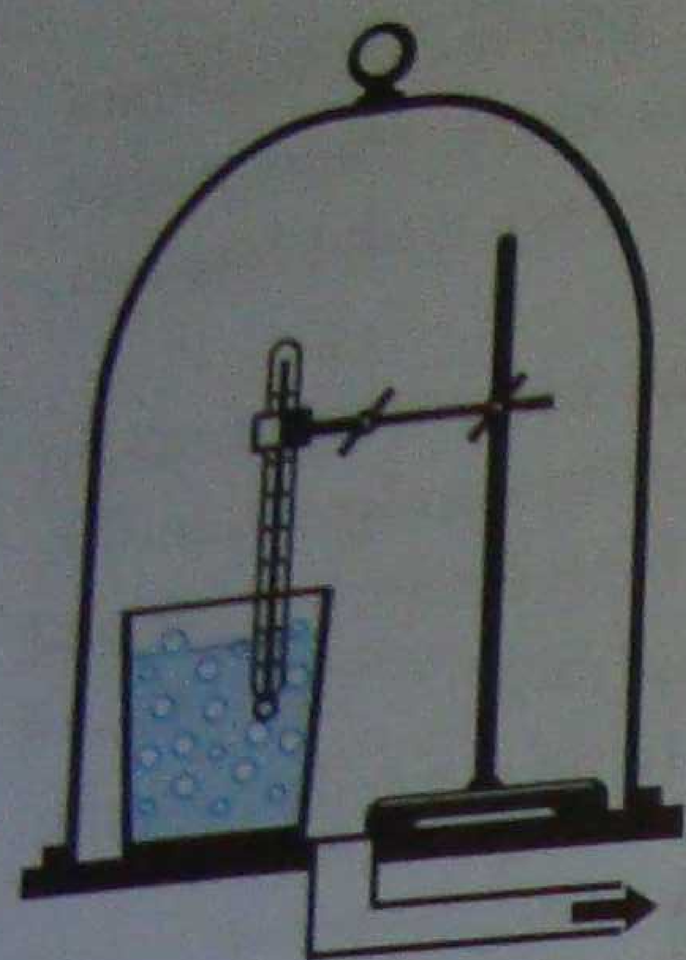
Եռման պրոցեսում շոգեգոյացում է կատարվում հեղուկի ողջ ծավալով մեկ՝ շոգեգոյացման կենտրոններ հանդիսացող բազմաթիվ պղպջակներում և, իհարկե, նաև հեղուկի մակերևույթից՝ գոլորշացման ճանապարհով:



Նկ. 184

Ինչպես հետևում է արված դատողություններից և (16.2) առնչությունից, ***եռման ջերմաստիճանը կախված է արտաքին ճնշումից***: Ճնշումը փոքրացնելիս եռման ջերմաստիճանն իջնում է, իսկ մեծացնելիս՝ բարձրանում, ինչն

անմիջապես հետևում է հագեցած գոլորշու ճնշման՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախումից (տե՛ս նկ. 181):



Նկ. 185

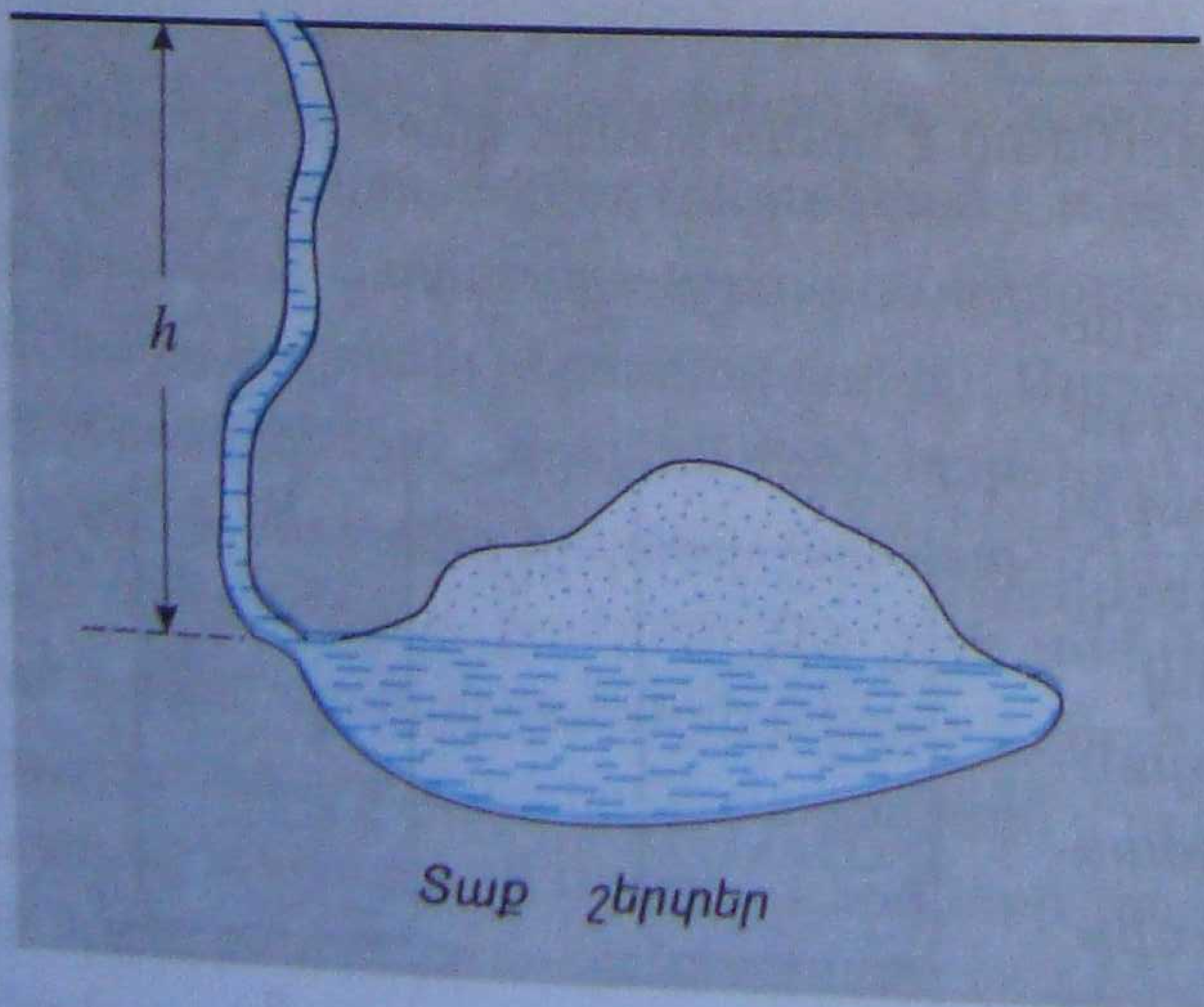
Համոզվենք դրանում փորձով (նկ. 185): Օդահան զանգի տակ դնենք մի բաժակ սենյակային ջերմաստիճանի ($\sim 25 \div 30$°C) ջուր: Եթե զանգի տակ օդը պոմպի միջոցով նոսրացնենք, ապա կտեսնենք, որ ջուրը սկսում է եռալ: Բանն այն է, որ, նոսրացնելով օդը, մենք փոքրացնում ենք ճնշումը ջրի մակերևույթին: Եվ երբ այն հավասարվում է տվյալ ջերմաստիճանում ջրի հագեցած գոլորշիների ճնշմանը, ջուրը սկսում է եռալ:

Նորմալ՝ $p = 760$ մմ սնդ.ս. ճնշման տակ ջուրը եռում է 100°C-ում: Երկրի մակերևույթից հեռանալիս, մթնոլորտային ճնշման նվազման հետ ջրի եռման ջերմաստիճանն իջնում է: Այսպես, Երևանում, որի միջին բարձրությունը ծովի մակարդակից մոտ 1000 մ է, մթնոլորտային ճնշումը՝ $p \approx 675$ մմ սնդ.ս., $t_0 \approx 97$°C:

Արարատի գագաթին, որի բարձրությունը 5165 մ է, ճնշումը մոտ 400 մմ սնդ.ս. է, ջրի եռման ջերմաստիճանը՝ մոտ 83°C:

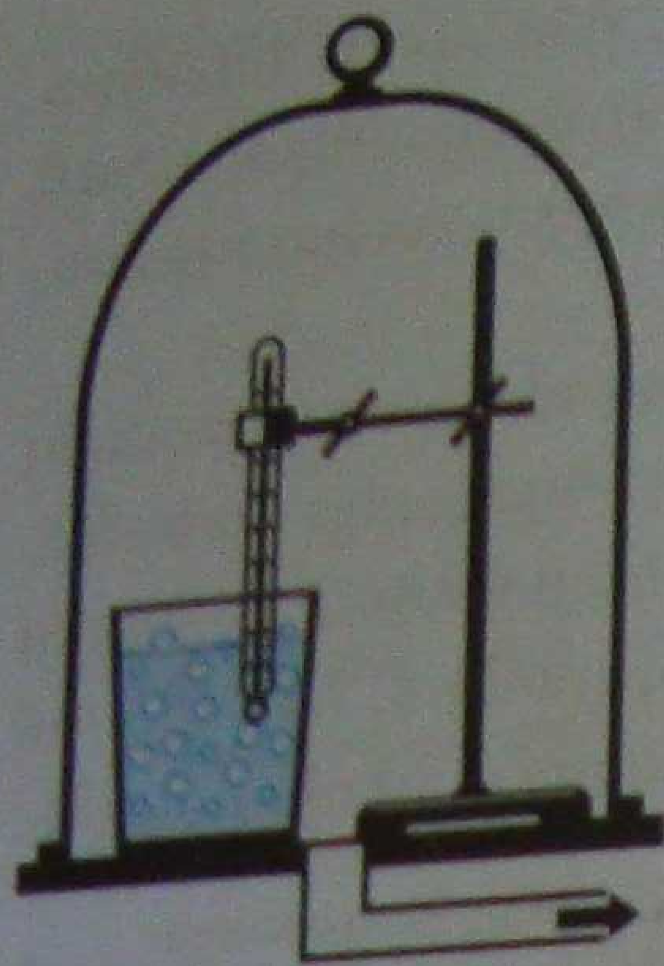
Եթե պահանջվում է ջրի ջերմաստիճանը բարձրացնել 100°C-ից վեր, ապա նրա մակերևույթին ստեղծում են մթնոլորտայինից մեծ ճնշում: Այս նպատակով օգտագործվող սարքերը՝ ավտոկլավները, լայնորեն կիրառվում են քիմիական և սննդի արդյունաբերության մեջ (փայտամշակում, գլիցերինի, ճարպաթթուների ստացում, պահածոների պատրաստում և այլն): Դրանք օգտագործվում են նաև բժշկության մեջ՝ տարբեր վիրաբուժական գործիքների, վիրակապերի և այլ նյութերի մանրէազերծման համար:

Ավտոկլավում ընթացող երևույթները, սակայն հսկայական մասշտաբներով, դիտվում են նաև բնության մեջ՝ գեյզերներում (իսլանդերեն «գեյզա»՝ դուրս հորդել բառից): Դրանք պարբերաբար գործող «շատրվաններ» են, որոնք տաք (եռացող) ջուր են արտանետում գետնի տակից դուրս եկող նեղ անցքերից: Գեյզերում գոլորշին առաջանում է մի քանի տասնյակ մետրի հասնող խորության վրա գտնվող բնական պահեստարանում, որում լցված ջուրը տաքանում է Երկրի ստորին շերտերից ստացվող ջերմաքանակի հաշվին (նկ. 186): Այսպիսի ջրամբարում, խորությունից կախված, ճնշումը կարող է հասնել մի քանի մթնոլորտի ($p = \rho g h + p_0$. եթե $h \approx 50$ մ, ապա $p \approx 6p_0$), և ջրի եռման ջերմաստիճանը նրանում կարող է զգալիորեն գերազանցել 100°C-ը: Երբ գոլորշու ճնշման տակ գեյզերի անցքում ջրի սյան բարձրությունը փոքրանում է, հիդրոստատիկ ճնշման փոքրացման հետևանքով բարձր ջերմաստիճան ունեցող ջուրն այնքան բուռն է սկսում



Նկ. 186

անմիջապես հետևում է հագեցած գոլորշու ճնշման՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախումից (տե՛ս նկ. 181):



Նկ. 185

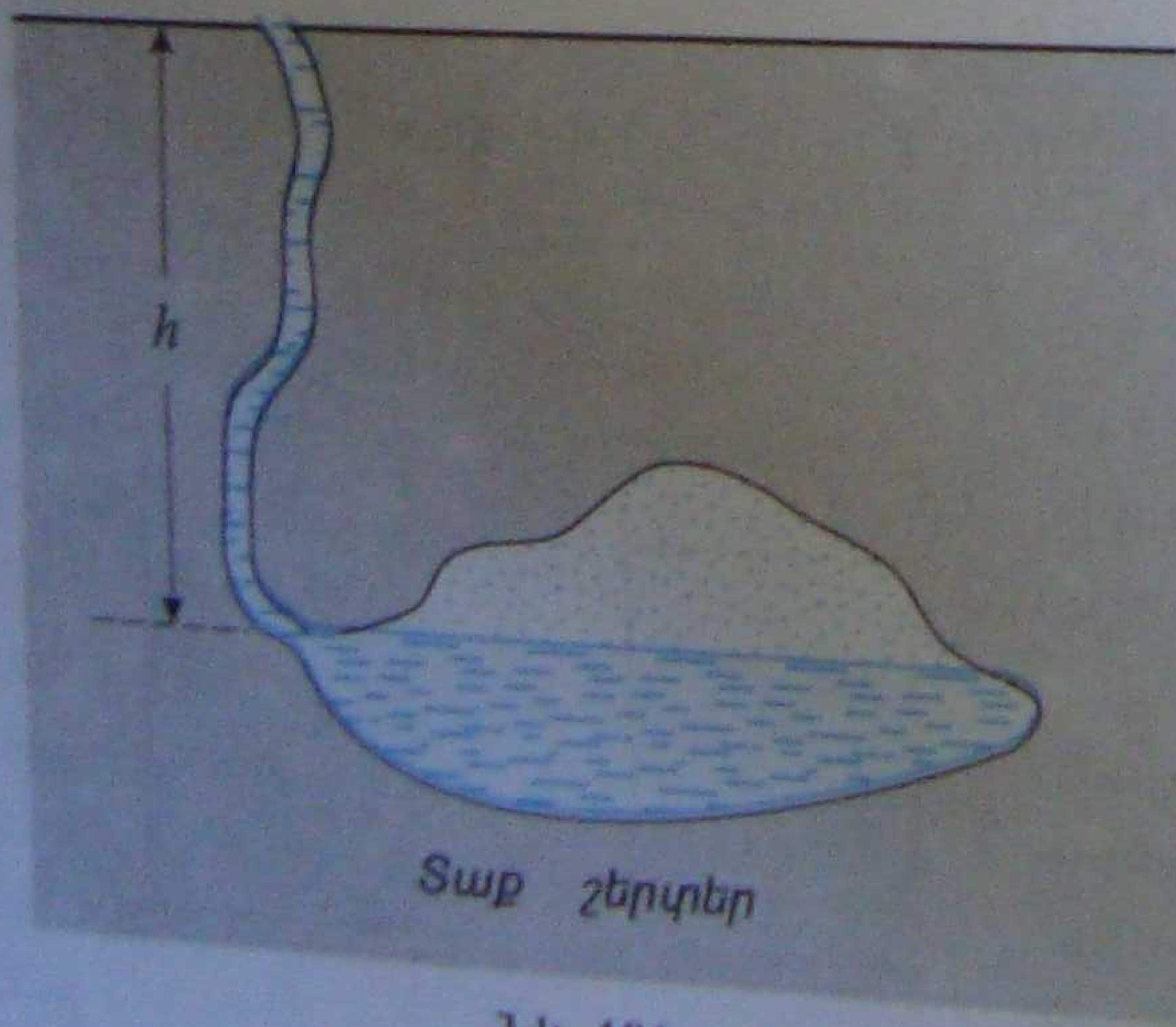
Համոզվենք դրանում փորձով (նկ. 185): Օդահան զանգի տակ դնենք մի բաժակ սենյակային ջերմաստիճանի ($\sim 25 \div 30°C$) ջուր: Երբ զանգի տակ օդը պոմպի միջոցով նոսրացնենք, ապա կտեսնենք, որ ջուրը սկսում է եռալ: Բանն այն է, որ, նոսրացնելով օդը, մենք փոքրացնում ենք ճնշումը ջրի մակերևույթին: Եվ երբ այն հավասարվում է տվյալ ջերմաստիճանում ջրի հագեցած գոլորշիների ճնշմանը, ջուրը սկսում է եռալ:

Նորմալ՝ $p = 760$ մմ սնդ.ս. ճնշման տակ ջուրը եռում է $100°C$-ում: Երկրի մակերևույթից հեռանալիս, մթնոլորտային ճնշման նվազման հետ ջրի եռման ջերմաստիճանն իջնում է: Այսպես, Երևանում, որի միջին բարձրությունը ծովի մակարդակից մոտ 1000 մ է, մթնոլորտային ճնշումը՝ $p \approx 675$ մմ սնդ.ս., $t_0 \approx 97°C$:

Արարատի գագաթին, որի բարձրությունը 5165 մ է, ճնշումը մոտ 400 մմ սնդ.ս. է, ջրի եռման ջերմաստիճանը՝ մոտ $83°C$:

Եթե պահանջվում է ջրի ջերմաստիճանը բարձրացնել $100°C$-ից վեր, ապա նրա մակերևույթին ստեղծում են մթնոլորտայինից մեծ ճնշում: Այս նպատակով օգտագործվող սարքերը՝ ավտոկլավները, լայնորեն կիրառվում են քիմիական և սննդի արդյունաբերության մեջ (փայտամշակում, գլիցերինի, ճարպաթթուների ստացում, պահածոների պատրաստում և այլն): Դրանք օգտագործվում են նաև բժշկության մեջ՝ տարբեր վիրաբուժական գործիքների, վիրակապերի և այլ նյութերի մանրէազերծման համար:

Ավտոկլավում ընթացող երևույթները, սակայն հսկայական մասշտաբներով, դիտվում են նաև բնության մեջ՝ գեյզերներում (իսլանդերեն «գեյզա»՝ դուրս հորդել բառից): Դրանք պարբերաբար գործող «շատրվաններ» են, որոնք տաք (եռացող) ջուր են արտանետում գետնի տակից դուրս եկող նեղ անցքերից: Գեյզերում գոլորշին առաջանում է մի քանի տասնյակ մետրի հասնող խորության վրա գտնվող բնական պահեստարանում, որում լցված ջուրը տաքանում է Երկրի ստորին շերտերից ստացվող ջերմաքանակի հաշվին (նկ. 186): Այսպիսի ջրամբարում, խորությունից կախված, ճնշումը կարող է հասնել մի քանի մթնոլորտի ($p = \rho gh + p_0$. եթե $h \approx 50$ մ, ապա $p \approx 6p_0$), և ջրի եռման ջերմաստիճանը նրանում կարող է զգալիորեն գերազանցել $100°C$-ը: Երբ գոլորշու ճնշման տակ գեյզերի անցքում ջրի սյան բարձրությունը փոքրանում է, հիդրոստատիկ ճնշման փոքրացման հետևանքով բարձր ջերմաստիճան ունեցող ջուրն այնքան բուռն է սկսում



Նկ. 186

գոլորշանալ, որ անկքում մնացած ջուրը (ցեխի և քարերի հետ) շպրտվում է մեծ բարձրությունների վրա (մինչև մի քանի տասնյակ և հարյուրավոր մետր):

Եռման ջերմաստիճանը կախված է հեղուկի տեսակից: Որքան բարձր է հեղուկի հագեցած գոլորշու ճնշումը, այնքան ցածր է նրա եռման ջերմաստիճանը: Այս հատկությունն անմիջապես հետևում է հագեցած գոլորշու ճնշման՝ ջերմաստիճանից կախման գրաֆիկից (նկ. 182), որի վրա հորիզոնական կետագծով նշված է մթնոլորտային ճնշման p_0 արժեքը: Եթերի (1 կոր) հագեցած գոլորշու ճնշումը հավասարվում է p_0-ին 35°C-ում, այսինքն՝ նորմալ ճնշման տակ եթերի եռման ջերմաստիճանը՝ t_0 = 35°C: Սպիրտի (2 կոր) համար գրաֆիկից ստացվում է՝ t_0 = 78°C:

Հեղուկների եռման ջերմաստիճանների տարբեր լինելը լայնորեն օգտագործվում է արդյունաբերության մեջ և տեխնիկայում: Օրինակ՝ նավթի թորման պրոցեսում սկզբում անջատվում է եռման ավելի ցածր ջերմաստիճան ունեցող բենզինը: Նման եղանակով է ստացվում սպիրտը, հեղուկ օդից՝ հեղուկ ազոտը և հեղուկ թթվածինը և այլն:

Հեղուկի եռման ջերմաստիճանը կախված է նաև նրանում առկա խառնուրդներից, որոնք, որպես կանոն, բարձրացնում են եռման ջերմաստիճանը: Այսպես, նորմալ ճնշման տակ ջուրը ($\rho = 10^3$ կգ/մ³) եռում է 100°C-ում, իսկ ծովի ջուրը ($\rho = 1{,}03 \cdot 10^3$ կգ/մ³)՝ 100,6°C-ում: Նատրիումի քլորիդի՝ $\rho \approx 1{,}17 \cdot 10^3$ կգ/մ³ խտությամբ ջրային լուծույթը եռում է 105,9°C ջերմաստիճանում:

Եթե հեղուկում շոգեգոյացման կենտրոններ (պղպջակներ) չկան, ապա այն կարող է տաքանալ՝ հասնելով ավելի բարձր ջերմաստիճանի, քան եռման ջերմաստիճանն է: Այսպիսի համասեռ հեղուկը կոչվում է ***գերտաքացված***: Եթե գերտաքացված հեղուկի մեջ մտցվի նյութ, որն ապահովում է պղպջակների առաջացումը (օրինակ՝ կավճի փոշի, բեյլի թերթիկներ և այլն), ապա հեղուկն իսկույն բուռն կերպով կեռա, և նրա ջերմաստիճանն արագ կհավասարվի տվյալ պայմաններում հեղուկի եռման ջերմաստիճանին:

Գերտաքացված հեղուկ վիճակն օգտագործվում է տարրական մասնիկների հետքերը գրանցող սարքերում՝ պղպջակային խցիկներում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր պրոցեսն են անվանում եռում:*
2. *Ինչո՞վ է պայմանավորված գազի մոլեկուլների առկայությունը հեղուկում:*
3. *Ի՞նչ պարամետրերից է կախված ջրում լուծված օդի կոնցենտրացիան:*
4. *Ինչի՞ց է կախված հեղուկի եռման ջերմաստիճանը:*
5. *Ինչու՞ է եռացող հեղուկի ջերմաստիճանը մնում հաստատուն, չնայած որ հեղուկն անընդհատ էներգիա է ստանում ջեռուցիչից:*
6. *Ինչպե՞ս է փոփոխվում հեղուկի եռման ջերմաստիճանը նրա մակերևույթի վրա ճնշումը փոփոխելիս:*
7. *Կարելի՞ է արդյոք ջուրը եռացնել առանց տաքացնելու: Ինչպե՞ս:*
8. *Ո՞ր դեպքում ջուրը չի եռա, եթե նրա ջերմաստիճանը 100°C-ից բարձր լինի:*
9. *Ինչպե՞ս է եռման ջերմաստիճանը կախված հեղուկի տեսակից:*
10. *Ի՞նչ է գերտաքացված հեղուկը:*

§ 81. Օդի խոնավությունը: Խոնավաչափեր

Մթնոլորտում, հատկապես նրա ստորին՝ երկրամերձ շերտերում, անընդհատ ընթացող գոլորշացման հետևանքով պարունակվում է հսկայական քանակությամբ ջրային գոլորշի: Ջրային գոլորշիներ պարունակող օդն անվանում են ***խոնավ***, իսկ օդում առկա գոլորշու քանակությունը՝ ***օդի խոնավություն***:

Ներմուծենք մեծություններ, որոնք թույլ են տալիս քանակապես բնութագրել օդի խոնավությունը:

Օդում պարունակվող ջրային գոլորշու քանակը կարելի է չափել՝ որոշակի ծավալով օդ անցկացնելով ջրային գոլորշին կլանող որևէ նյութի միջով և որոշելով, օրինակ, 1 մ³-ում պարունակվող գոլորշու քանակը: ***1 մ³ օդում պարունակվող ջրային գոլորշու զանգվածը, արտահայտված գրամներով, կոչվում է օդի բացարձակ խոնավություն***: Այլ կերպ, օդի բացարձակ խոնավությունը հավասար է տվյալ պայմաններում օդում ջրային գոլորշու ρ խտությանը (արտահայտված գ/մ³ միավորով):

Եթե օդում առկա ջրային գոլորշու համար կիրառենք գազային վիճակի միայնյալ հավասարումը՝ (14.30) բանաձևը, ապա օդի բացարձակ խոնավությունը կարող ենք արտահայտել նաև ջրային գոլորշու ճնշման միջոցով՝

$$\rho = \frac{pM}{RT}, \qquad (16.3)$$

որտեղ M-ը ջրի մոլային զանգվածն է (0,018 կգ/մոլ), R-ը՝ գազային ունիվերսալ հաստատունը, T-ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

Այսպիսով՝ օդի բացարձակ խոնավությունը կարելի է բնութագրել նաև ջրային գոլորշու ***մասնական ճնշմամբ***, որը ջրային գոլորշու բաժինն է ընդհանուր ճնշման մեջ:

Սակայն, գիտենալով օդի բացարձակ խոնավությունը, դեռևս չի կարելի որոշել, թե որքանով է օդը չոր կամ խոնավ, քանի որ օդի խոնավությունը կախված է նաև օդի ջերմաստիճանից: Եթե այն ցածր է, ապա օդում գոլորշու խտությունը կարող է մոտ լինել հագեցած գոլորշու խտությանը, և օդը կլինի խոնավ: Ավելի բարձր ջերմաստիճանում գոլորշին հեռու է հագեցած լինելուց, և օդն ավելի չոր է:

Այսպիսով՝ օդի խոնավության մասին դատելու համար պետք է իմանալ, թե որքանով է օդում պարունակվող ջրային գոլորշին հեռու հագեցման վիճակից: Այս նպատակով մտցվում է օդի խոնավության մի նոր բնութագիր՝ ***հարաբերական խոնավություն***: ***Օդի հարաբերական խոնավությունը տվյալ ջերմաստիճանում օդի բացարձակ խոնավության՝ ρ-ի հարաբերությունն է գոլորշու այն ρ_0 խտությանը, որն անհրաժեշտ է նույն ջերմաստիճանում գոլորշին հագեցած դարձնելու համար***: Հարաբերական խոնավությունն արտահայտում են տոկոսներով: Այսպիսով, ըստ սահմանման, օդի հարաբերական խոնավությունը՝

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\,\% : \qquad (16.4)$$

Նկատի ունենալով (16.3) հավասարումը՝ օդի հարաբերական խոնավությունը կարող ենք արտահայտել նաև գոլորշու ճնշումների միջոցով՝

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\,\% : \qquad (16.5)$$

Այժմ ուսումնասիրենք չհագեցած ջրային գոլորշու վարքն իզոբար սառեցման պրոցեսում, այսինքն՝ երբ օդի ջերմաստիճանը նվազելիս գոլորշու ճնշումը մնում է հաստատուն (նկ. 187):

Չհագեցած ջրային գոլորշու վիճակը պատկերված է A կետով, որին համապատասխանում է p_1 ճնշում և t_A ջերմաստիճան: Գոլորշու իզոբար սառեցման պրոցեսում նրա խտությունը մեծանում է, ինչն անմիջապես հետևում է (16.3) բանաձևից: Ֆիզիկորեն՝ ջերմաստիճանի նվազմամբ պայմանավորված գոլորշու ճնշման անկումը համակշռվում է գոլորշու խտության համապատասխան աճով:

Նկ. 187

B կետում $p_1 = const$ իզոբարը հատում է հագեցած գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային կախման կորը, այսինքն՝ B կետին համապատասխանող $t_{ցող}$ ջերմաստիճանում չհագեցած գոլորշին դառնում է հագեցած. օդի հարաբերական խոնավությունը հավասարվում է 100%-ի: ***Այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում գոլորշին դառնում է հագեցած, կոչվում է ցողի կետի ջերմաստիճան*** ($t_{ցող}$):

Եթե օդի ջերմաստիճանը, անգամ չնչին չափով, դառնա ցածր $t_{ցող}$-ից, ապա հագեցած գոլորշու վիճակը պատկերող կետը կշարժվի կորով դեպի վար, և գոլորշու ճնշումը կդառնա p_1-ից փոքր ($p_{B'} < p_B = p_1$, նկ. 187): Այսպիսով՝ գոլորշին կխտանա, և հագեցման համար անհրաժեշտ գոլորշու քանակի «ավելցուկը» ջրի տեսքով կանջատվի շրջապատի առարկաների վրա. կառաջանա ցող:

Եթե հայտնի է $t_{ցող}$ ցողի կետի ջերմաստիճանը, ապա հայտնի է նաև ջրային գոլորշու $p_1(t_{ցող})$ ճնշումը. այն տրվում է հագեցած գոլորշու ճնշման՝ ջերմաստիճանից կախման կորի կամ համապատասխան աղյուսակի միջոցով: Ինչպես երևում է նկ. 187-ից, $p_1(t_{ցող})$ ճնշումը հենց չհագեցած գոլորշու p_1 ճնշումն է t_A ջերմաստիճանում, ուստի, հաշվի առնելով աղյուսակից (կամ կորից) նորից որոշելով t_A ջերմաստիճանում հագեցած գոլորշու ճնշումը (նկ. 187, p_1 կետը), օդի հարաբերական խոնավության համար կստանանք՝

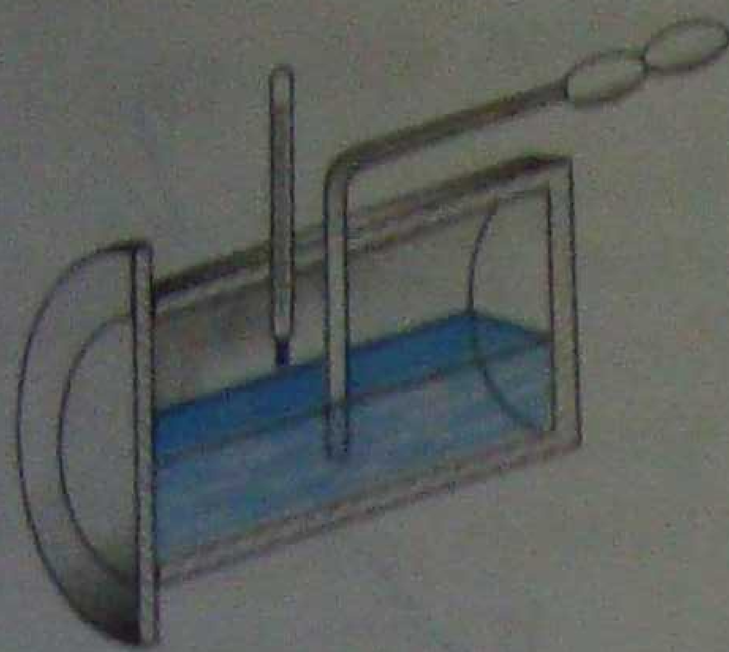
$$\varphi(t_A) = \frac{p_1(t_A)}{p_0(t_A)} \cdot 100\,\% = \frac{p_1(t_{ցող})}{p_0(t_A)} \cdot 100\,\% \,: \qquad (16.6)$$

Այսպիսով՝ ցողի կետի ջերմաստիճանը նույնպես օդի խոնավության բնութագիր է:

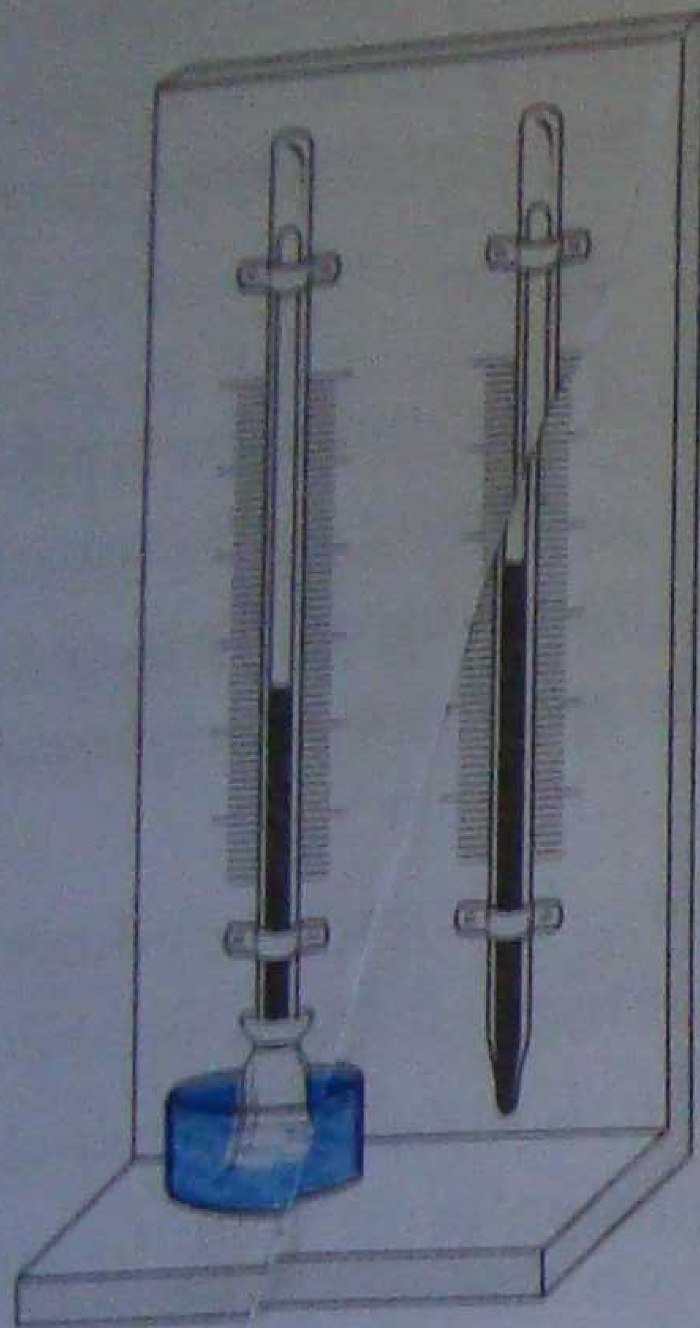
Օդի խոնավությունը որոշող սարքերը կոչվում են ***խոնավաչափեր*** (հիգրոմետրեր. հունարեն «հիգրոս»՝ խոնավ բառից):

Օդի բացարձակ խոնավությունը չափվում է խտացման խոնավաչափի միջոցով, որը թույլ է տալիս փորձով որոշել ցողի կետի ջերմաստիճանը:

Խտացման խոնավաչափը մետաղե տուփ է, որի մի պատը ողորկված և փայլեցված է: Տուփի մեջ լցված է եթեր և իջեցված է ջերմաչափ: Եթերի գոլորշացման պրոցեսի արագացման և մետաղե տուփի արագ սառեցման նպատակով եթերի մեջ դրսից օդ են մղում (նկ. 188): Երբ տուփի ջերմաստիճանը հասնում է ցողի կետի ջերմաստիճանին, նրա փայլեցված պատին խտանում է օդում պարունակվող ջրային գոլորշին: Պատը



Նկ. 188



Նկ. 189

«քրտնում է», նրա փայլը խամրում է: Այդ պահին ջերմաչափը ցույց է տալիս $t_{ցող}$ ջերմաստիճանը, որի օգնությամբ աղյուսակից գտնում են օդի բացարձակ խոնավությունը:

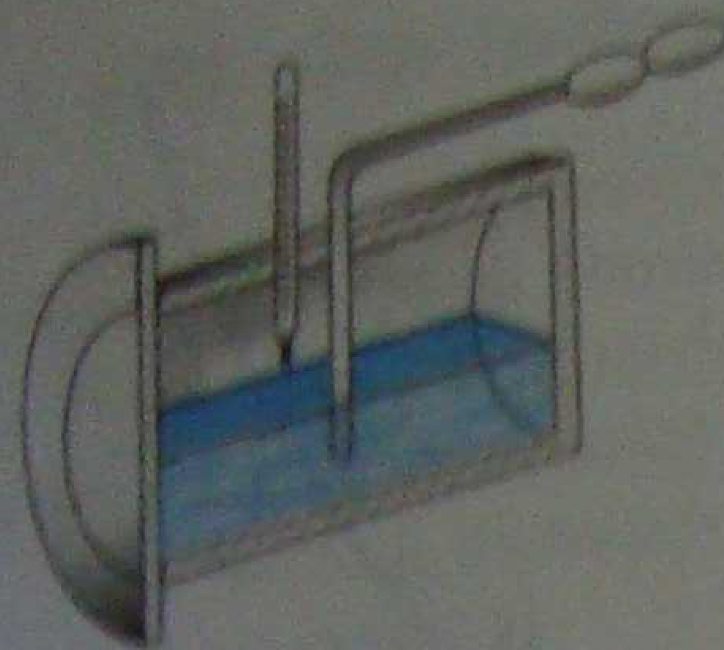
Օդի հարաբերական խոնավությունը որոշվում է ***խոնավաջերմաչափով*** (պսիխրոմետր, հունարեն «պսիխրոս»՝ սառը բառից): Այն բաղկացած է երկու միատեսակ ջերմաչափերից, որոնցից մեկի պահեստարանը փաթաթված է գործվածքի, սովորաբար՝ բանզինի (մառլյա) կտորով, որի ծայրն իջեցված է ջրով լցված անոթի մեջ (նկ. 189): Ջուրը կտորով բարձրանում է և գոլորշանալով՝ սառեցնում պահեստարանը (գոլորշացումը կատարվում է պահեստարանի հեղուկի՝ սնդիկի ներքին էներգիայի հաշվին), ուստի այս «թաց» ջերմաչափի ցուցմունքն ավելի փոքր է, քան «չոր» ջերմաչափինը, որը ցույց է տալիս շրջապատի ջերմաստիճանը: «Չոր» և «թաց» ջերմաչափերի ջերմաստիճանների $\Delta t = t_չ - t_թ$ պսիխրոմետրական տարբերությունն այնքան ավելի մեծ է, որքան մեծ է «թաց» ջերմաչափի պահեստարանի մակերևույթին ջրի գոլորշացման արագությունը: Վերջինս հիմնականում կախված է օդի հարաբերական խոնավությունից՝ այն բանից, թե օդում ջրային գոլորշին որքան հեռու է հագեցած լինելուց: Որքան մեծ է գոլորշացման արագությունը, այնքան մեծ է Δt տարբերությունը, և այնքան փոքր է օդի հարաբերական խոնավությունը: «Չոր» ջերմաչափի ցուցմունքի և Δt տարբերության միջոցով, հատուկ պսիխրոմետրական աղյուսակի օգնությամբ կարելի է որոշել օդի բացարձակ և հարաբերական խոնավությունները:

Օդի խոնավությունը կարևոր դեր է խաղում կենդանական և բուսական աշխարհում: Օրգանիզմների կենսագործունեության համար բարենպաստ չէ ինչպես ցածր, այնպես էլ բարձր խոնավությունը: Մարդու առողջության համար այն ունի մեծ նշանակություն, քանի որ դրանից է կախված մարդու օրգանիզմի ջերմափոխանակությունը շրջապատի հետ: 20÷25°C ջերմաստիճանում ամենաբարենպաստը մարդու առողջության համար φ = 40% ÷60% հարաբերական խոնավությունն է: Ցածր խոնավության դեպքում տեղի են ունենում քթի լորձաթաղանթի, կոկորդի և թոքերի մակերևույթներից արագ գոլորշացում և չորացում, ինչը կարող է հանգեցնել առողջական վիճակի վատացման:

Օդի խոնավությունը կարևոր դեր է խաղում նաև բազմաթիվ տեխնոլոգիական պրոցեսներում, օրինակ՝ մանվածքային, հրուշակեղենի չորացման արտադրություններում, գրապահոցներում և թանգարաններում՝ նմուշների պահպանման համար:

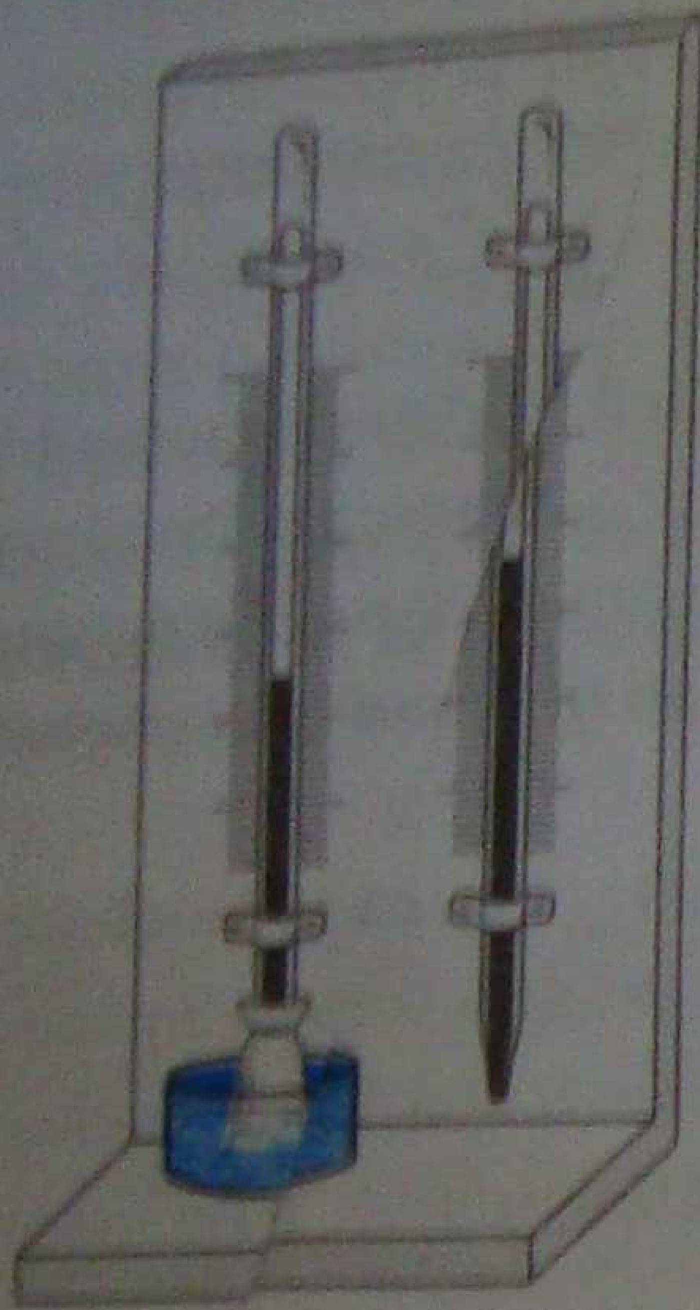
Օդի խոնավությունն իմանալը կարևոր է օդերևութաբանության մեջ՝ եղանակի կանխագուշակման համար, ինչն անհրաժեշտ է գյուղատնտեսության, տրանսպորտի և տնտեսության այլ բնագավառների բնականոն գործունեության համար:

«քրտնում է», նրա փայլը խամրում է: Այդ պահին ջերմաչափը ցույց է տալիս $t_{ցող}$ ջերմաստիճանը, որի օգնությամբ աղյուսակից գտնում են օդի բացարձակ խոնավությունը:



Նկ. 188

Օդի հարաբերական խոնավությունն արագ և մեծ ճշտությամբ որոշվում է ***խոնավաչափով*** (պսիխրոմետր, հունարեն «պսիխրոս»՝ սառը բառից): Այն բաղկացած է երկու միատեսակ ջերմաչափերից, որոնցից մեկի պահեստարանը փաթաթված է գործվածքի, սովորաբար՝ բամբակի (մառլյա) կտորով, որի ծայրն իջեցված է ջրով լցված անոթի մեջ (նկ. 189): Ջուրը կտորով բարձրանում է և գոլորշանալով սառեցնում պահեստարանը (գոլորշացումը կատարվում է պահեստարանի հեղուկի՝ սնդիկի ներքին էներգիայի հաշվին), ուստի այս «թաց» ջերմաչափի ցուցմունքն ավելի փոքր է, քան «չոր» ջերմաչափինը, որը ցույց է տալիս շրջապատի ջերմաստիճանը: «Չոր» և «թաց» ջերմաչափերի ջերմաստիճանների $\Delta t = t_{չ} - t_{թ}$ պսիխրոմետրական տարբերությունն այնքան ավելի մեծ է, որքան մեծ է «թաց» ջերմաչափի պահեստարանի մակերևույթից ջրի գոլորշացման արագությունը: Վերջինս հիմնականում կախված է օդի հարաբերական խոնավությունից՝ այն բանից, թե օդում ջրային գոլորշին որքան հեռու է հագեցած լինելուց: Որքան մեծ է գոլորշացման արագությունը, այնքան մեծ է Δt տարբերությունը, և այնքան փոքր է օդի հարաբերական խոնավությունը: «Չոր» ջերմաչափի ցուցմունքի և Δt տարբերության միջոցով, հատուկ պսիխրոմետրական աղյուսակի օգնությամբ կարելի է որոշել օդի բացարձակ և հարաբերական խոնավությունները:

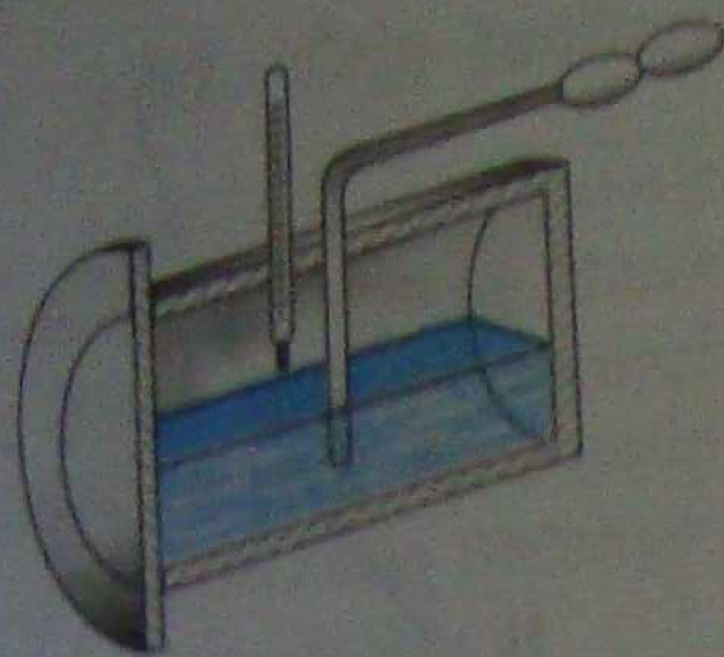


Նկ. 189

Օդի խոնավությունը կարևոր դեր է խաղում կենդանական և բուսական աշխարհում: Օրգանիզմների կենսագործունեության համար բարենպաստ չէ ինչպես ցածր, այնպես էլ բարձր խոնավությունը: Մարդու առողջության համար այն ունի մեծ նշանակություն, քանի որ դրանից է կախված մարդու օրգանիզմի ջերմափոխանակությունը շրջապատի հետ: 20÷25°C ջերմաստիճանում ամենաբարենպաստ մարդու առողջության համար $\varphi = 40\% \div 60\%$ հարաբերական խոնավությունն է: Ցածր խոնավության դեպքում տեղի են ունենում քթի լորձաթաղանթի, կոկորդի և թոքերի մակերևույթներից արագ գոլորշացում և չորացում, ինչը կարող է հանգեցնել առողջական վիճակի վատացման:

Օդի խոնավությունը կարևոր դեր է խաղում նաև բազմաթիվ տեխնոլոգիական պրոցեսներում, օրինակ՝ մանվածքային, հրուշակեղենի չորացման արտադրություններում, գրադարաններում և թանգարաններում՝ նմուշների պահպանման համար:

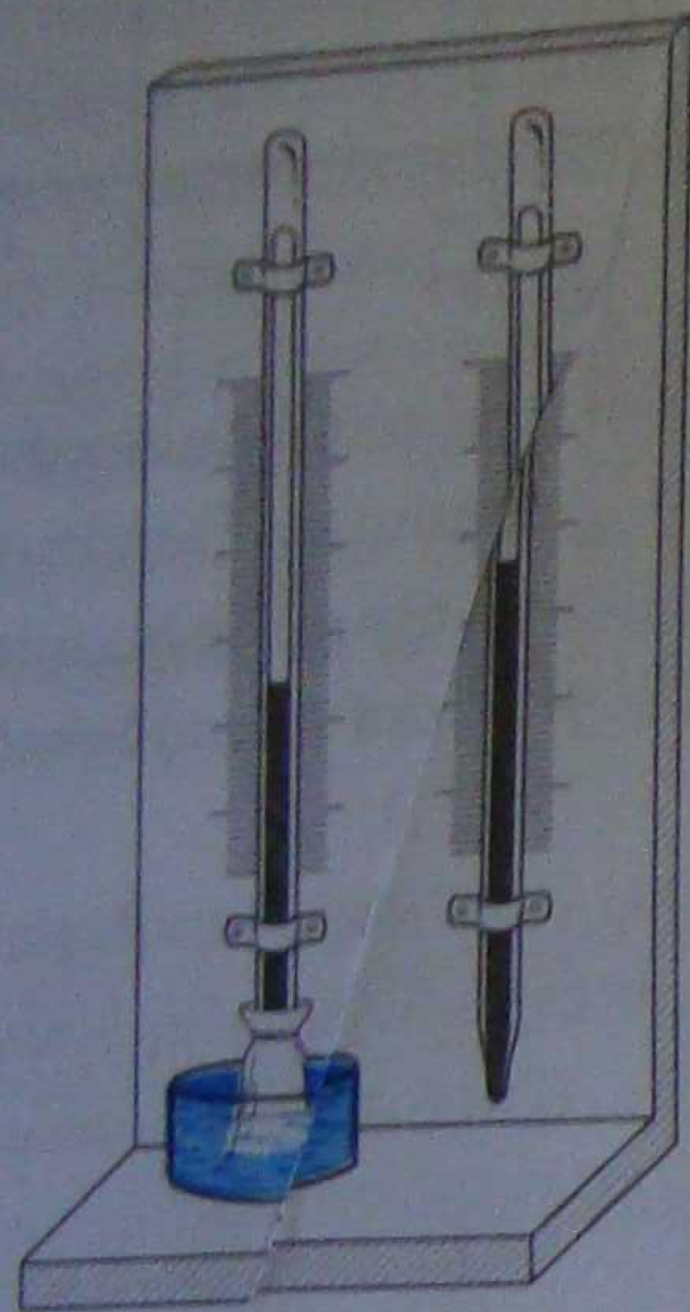
Օդի խոնավության իմացությունը կարևոր է օդերևութաբանության մեջ՝ եղանակի կանխագուշակման համար, ինչն անհրաժեշտ է գյուղատնտեսության, տրանսպորտի և տնտեսության այլ բնագավառների բնականոն գործունեության համար:



Նկ. 188

«բոտնում է», նրա փայլը խամրում է: Այդ պահին ջերմաչափը ցույց է տալիս $t_{ցող}$ ջերմաստիճանը, որի օգնությամբ աղյուսակից գտնում են օդի բացարձակ խոնավությունը:

Օդի հարաբերական խոնավությունն արագ և մեծ ճշգրտությամբ որոշվում է ***խոնավաջերմաչափով*** (պսիխրոմետր, հունարեն «պսիխրոս»՝ սառը բառից): Այն բաղկացած է երկու միատեսակ ջերմաչափերից, որոնցից մեկի պահեստարանը փաթաթված է գործվածքի, սովորաբար՝ բանգիճի (մառլյա) կտորով, որի ծայրն իջեցված է ջրով լցված անոթի մեջ (նկ. 189): Ջուրը կտորով բարձրանում է և գոլորշանալով՝ սառեցնում պահեստարանը (գոլորշացումը կատարվում է պահեստարանի հեղուկի՝ սնդիկի ներքին էներգիայի հաշվին), ուստի այս «թաց» ջերմաչափի ցուցմունքն ավելի փոքր է, քան «չոր» ջերմաչափինը, որը ցույց է տալիս շրջապատի ջերմաստիճանը: «Չոր» և «թաց» ջերմաչափերի ջերմաստիճանների $\Delta t = t_չ - t_թ$ պսիխրոմետրական տարբերությունն այնքան ավելի մեծ է, որքան մեծ է «թաց» ջերմաչափի պահեստարանի մակերևույթին ջրի գոլորշացման արագությունը: Վերջինս հիմնականում կախված է օդի հարաբերական խոնավությունից՝ այն բանից, թե օդում ջրային գոլորշին որքան հեռու է հագեցած լինելուց: Որքան մեծ է գոլորշացման արագությունը, այնքան մեծ է Δt տարբերությունը, և այնքան փոքր է օդի հարաբերական խոնավությունը: «Չոր» ջերմաչափի ցուցմունքի և Δt տարբերության միջոցով, հատուկ պսիխրոմետրական աղյուսակի օգնությամբ կարելի է որոշել օդի բացարձակ և հարաբերական խոնավությունները:



Նկ. 189

Օդի խոնավությունը կարևոր դեր է խաղում կենդանական և բուսական աշխարհում: Օրգանիզմների կենսագործունեության համար բարենպաստ չէ ինչպես ցածր, այնպես էլ բարձր խոնավությունը: Մարդու առողջության համար այն ունի մեծ նշանակություն, քանի որ դրանից է կախված մարդու օրգանիզմի ջերմափոխանակությունը շրջապատի հետ: 20÷25°C ջերմաստիճանում ամենաբարենպաստը մարդու առողջության համար $\varphi = 40\% \div 60\%$ հարաբերական խոնավությունն է: Ցածր խոնավության դեպքում տեղի են ունենում քթի լորձաթաղանթի, կոկորդի և թոքերի մակերևույթներից արագ գոլորշացում և չորացում, ինչը կարող է հանգեցնել առողջական վիճակի վատացման:

Օդի խոնավությունը կարևոր դեր է խաղում նաև բազմաթիվ տեխնոլոգիական պրոցեսներում, օրինակ՝ մանվածքային, հրուշակեղենի չորացման արտադրություններում, գրապահոցներում և թանգարաններում՝ նմուշների պահպանման համար:

Օդի խոնավությունն իմանալը կարևոր է օդերևութաբանության մեջ՝ եղանակի կանխագուշակման համար, ինչն անհրաժեշտ է գյուղատնտեսության, տրանսպորտի և տնտեսության այլ բնագավառների բնականոն գործունեության համար:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ի՞նչ է օդի խոնավությունը:
2. Ի՞նչ է օդի բացարձակ խոնավությունը:
3. Ի՞նչ է օդի հարաբերական խոնավությունը:
4. Ինչպե՞ս է կապված օդի բացարձակ խոնավությունը տվյալ ջերմաստիճանում ջրային գոլորշու ճնշման հետ:
5. Ի՞նչ է ցողի կետի ջերմաստիճանը:
6. Բացատրե՛ք խտացման խոնավաչափի աշխատանքի սկզբունքը:
7. Բացատրե՛ք խոնավաջերմաչափի աշխատանքի սկզբունքը:
8. Ինչպե՞ս է օդի խոնավությունն ազդում մարդու առողջության վրա:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***$V = 1$ մ³ ծավալով փակ անոթում կա $m = 1{,}2\cdot10^{-2}$ կգ զանգվածով ջուր և հագեցած գոլորշի, որի խտությունը՝ $\rho = 8\cdot10^{-3}$ կգ/մ³, իսկ ճնշումը՝ $p = 1{,}1\cdot10^{3}$ Պա: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի, եթե անոթի ծավալը հաստատուն ջերմաստիճանում մեծանա $k = 5$ անգամ:***

Լուծում: Մինչև ընդարձակվելը հագեցած գոլորշու զանգվածը՝ $m_1 = \rho V_գ \approx \rho V$ (ջրի ծավալը շատ փոքր է գոլորշու ծավալից, ուստի $V_գ = V - V_ջ \approx V$): Ջրի և գոլորշու ընդհանուր զանգվածը՝ $m_0 = m_1 + m = 2\cdot10^{-2}$ կգ: Որպեսզի նույն ջերմաստիճանում գոլորշին kV ծավալում լինի հագեցած, անհրաժեշտ է $kV\cdot\rho = 5\cdot1\cdot8\cdot10^{-3}$ կգ $= 4\cdot10^{-2}$ կգ ջուր, ինչը մեծ է եղած m_0 զանգվածից: Հետևաբար, ընդարձակվելուց հետո անոթում գոլորշին կլինի չհագեցած: Գոլորշու ճնշումը վերջնական վիճակում՝

$$p' = \frac{(m_1 + m)RT}{kVM}:$$

Նկատի ունենալով նաև սկզբնական վիճակում հագեցած գոլորշու վիճակի հավասարումը՝ $p = m_1RT/VM = \rho RT/M$, կստանանք՝

$$p' = p\cdot\frac{m_1 + m}{kV\rho} = 550 \text{ Պա}:$$

2. ***0,7 մ³ ծավալով անոթում, 24°C ջերմաստիճանում օդի հարաբերական խոնավությունը հավասար է 60 %-ի: Ի՞նչ զանգվածով ջուր պետք է գոլորշացնել այդ ծավալում հագեցած գոլորշի ստանալու համար: 24°C-ում հագեցած գոլորշու ճնշումը՝ $p_0 = 2985$ Պա:***

Լուծում: Տվյալ ջերմաստիճանում օդի հարաբերական խոնավությունը՝ $\varphi = p/p_0$, որտեղից՝ $p = \varphi p_0$: Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից որոշելով p և p_0 ճնշումների դեպքում գոլորշու զանգվածները՝ պահանջվող ջրի զանգվածի համար կստանանք՝

$$\Delta m = m_0 - m = \frac{p_0VM}{RT} - \frac{pVM}{RT} = \frac{p_0VM}{RT}(1 - \varphi) = 6{,}1\cdot10^{-3} \text{ կգ}:$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է օդի խոնավությունը:*
2. *Ի՞նչ է օդի բացարձակ խոնավությունը:*
3. *Ի՞նչ է օդի հարաբերական խոնավությունը:*
4. *Ինչպե՞ս է կապված օդի բացարձակ խոնավությունը տվյալ ջերմաստիճանում ջրային գոլորշու ճնշման հետ:*
5. *Ի՞նչ է ցողի կետի ջերմաստիճանը:*
6. *Բացատրե՛ք խտացման խոնավաչափի աշխատանքի սկզբունքը:*
7. *Բացատրե՛ք խոնավաջերմաչափի աշխատանքի սկզբունքը:*
8. *Ինչպե՞ս է օդի խոնավությունն ազդում մարդու առողջության վրա:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***$V = 1$ մ^3 ծավալով փակ անոթում կա $m = 1{,}2\cdot10^{-2}$ կգ զանգվածով ջուր և հագեցած գոլորշի, որի խտությունը՝ $\rho = 8\cdot10^{-3}$ կգ/մ^3, իսկ ճնշումը՝ $p=1{,}1\cdot10^3$ Պա: Ի՞նչ ճնշում կհաստատվի, եթե անոթի ծավալը հաստատուն ջերմաստիճանում մեծանա $k = 5$ անգամ:***

Լուծում: Մինչև ընդարձակվելը հագեցած գոլորշու զանգվածը՝ $m_1 = \rho V_գ \approx \rho V$ (ջրի ծավալը շատ փոքր է գոլորշու ծավալից, ուստի $V_գ = V - V_ջ \approx V$): Ջրի և գոլորշու ընդհանուր զանգվածը՝ $m_0 = m_1 + m = 2\cdot10^{-2}$ կգ: Որպեսզի նույն ջերմաստիճանում գոլորշին kV ծավալում լինի հագեցած, անհրաժեշտ է $kV\cdot\rho = 5\cdot1\cdot8\cdot10^{-3}$ կգ $= 4\cdot10^{-2}$ կգ ջուր, ինչը մեծ է եղած m_0 զանգվածից: Հետևաբար, ընդարձակվելուց հետո անոթում գոլորշին կլինի չհագեցած: Գոլորշու ճնշումը վերջնական վիճակում՝

$$p' = \frac{(m_1 + m)RT}{kVM} :$$

Նկատի ունենալով նաև սկզբնական վիճակում հագեցած գոլորշու վիճակի հավասարումը՝ $p = m_1RT/VM = \rho RT/M$, կստանանք՝

$$p' = p\cdot\frac{m_1 + m}{kV\rho} = 550 \text{ Պա} :$$

2. ***0,7 մ^3 ծավալով անոթում, 24°C ջերմաստիճանում օդի հարաբերական խոնավությունը հավասար է 60 %-ի: Ի՞նչ զանգվածով ջուր պետք է գոլորշացնել այդ ծավալում հագեցած գոլորշի ստանալու համար: 24°C-ում հագեցած գոլորշու ճնշումը՝ $p_0 = 2985$ Պա:***

Լուծում: Տվյալ ջերմաստիճանում օդի հարաբերական խոնավությունը՝ $\varphi = p/p_0$, որտեղից՝ $p = \varphi p_0$: Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից որոշելով p և p_0 ճնշումների դեպքում գոլորշու զանգվածները՝ պահանջվող ջրի զանգվածի համար կստանանք՝

$$\Delta m = m_0 - m = \frac{p_0VM}{RT} - \frac{pVM}{RT} = \frac{p_0VM}{RT}(1 - \varphi) = 6{,}1\cdot10^{-3} \text{ կգ} :$$

3. ***Գնահատել, թե 100°C ջերմաստիճանում ջրի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմության ($r = 2{,}3\cdot10^6$ Ջ/կգ) ո՞ր մասն է կազմում արտաքին ճնշման ուժերի դեմ կատարված աշխատանքի վրա ծախսված ջերմաքանակը:***

Լուծում: m զանգվածով ջուրը գոլորշու վերածվելիս արտաքին հաստատուն ճնշման դեպքում կատարված աշխատանքը՝ $A = p_0(V_գ - V_h) \approx p_0 V_գ$, որտեղ $V_գ$-ն m զանգվածով գոլորշու ծավալն է ($V_գ >> V_h$, տե՛ս 1. խնդրի լուծումը): Քանի որ $p_0 = p_h$, ապա, օգտվելով Մենդելեև-Կլապեյրոնի հավասարումից և վերը բերված բանաձևից, կստանանք՝

$$A = \frac{mRT_0}{M},$$

որտեղ $T_0 = 373$ Կ, $M = 1{,}8\cdot10^{-2}$ կգ/մոլ: A աշխատանքը կազմում է m զանգվածով հեղուկը եռման ջերմաստիճանում գոլորշացնելու համար պահանջվող mr ջերմաքանակի հետևյալ մասը՝

$$\frac{A}{mr} = \frac{RT_0}{Mr} \approx 0{,}075:$$

Խնդիրներ

1. *Քանի՞ անգամ է 100°C ջերմաստիճանում հագեցած ջրային գոլորշու կոնցենտրացիան մեծ, քան 10°C-ում:*

2. *10^{-3} մ² հատույթի մակերեսով գլանում, մխոցի տակ գտնվում է 50°C ջերմաստիճանի ջուր: Մխոցը հպվում է ջրի մակերևույթին: Ջրի ի՞նչ զանգված կգոլորշանա, եթե մխոցը 0,1 մ-ով բարձրացվի:*

3. *Սնդիկի հագեցած գոլորշու խտությունը 20°C-ում $2\cdot10^{-5}$ կգ/մ³ է: Գտնել գոլորշու ճնշումն այդ ջերմաստիճանում:*

4. *Ի՞նչ ծավալ է զբաղեցնում 10^{-3} կգ հագեցած գոլորշին 18°C-ում: Հագեցած գոլորշու ճնշումը 18°C-ում հավասար է 15,5 մմ սնդ. ս.:*

5. *$2\cdot10^{-3}$ մ³ ծավալով անոթի մեջ, որտեղ ջերմաստիճանը 20°C է, իսկ ճնշումը՝ 760 մմ սնդ. ս., գցում են 1,5 գ չոր սառույց (պինդ ածխաթթու) և անոթը կիպ փակում են: Կպայթի՞ արդյոք անոթը, եթե նրա պատերը դիմանում են 10^5 Պա լրացուցիչ ճնշման: 20°C-ում ածխաթթու գազի հագեցած գոլորշու ճնշումը $5{,}65\cdot10^6$ Պա է:*

6. *0,5 լ ծավալով գազի բալոնը պարունակում է 300 գ պրոպան (C_3H_8) $1{,}6\cdot10^6$ Պա ճնշման տակ: Ի՞նչ կարելի է ասել բալոնում պրոպանի ագրեգատային վիճակի մասին:*

7. *Որոշել հագեցած ջրային գոլորշու խտությունը 100°C-ում:*

8. *Գտնել օդի բացարձակ խոնավությունը, եթե նրանում պարունակվող ջրային գոլորշու մասնակի ճնշումը $1{,}4\cdot10^4$ Պա է, իսկ օդի ջերմաստիճանը՝ 60°C:*

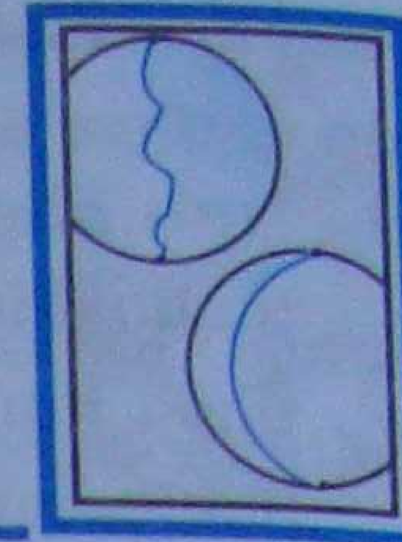
9. *4 մ³ օդում 16°C-ում կա 40 գ ջրային գոլորշի: Գտնել օդի հարաբերական խոնավությունը:*

10. *Գտնել օդի հարաբերական խոնավությունը սենյակում 18°C-ում, եթե ցողի կետի ջերմաստիճանը 10°C է:*

ԳԼՈՒԽ 16-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Երբ հեղուկից գոլորշի անցնող մոլեկուլների թիվը հավասար է նույն ժամանակամիջոցում գոլորշուց հեղուկ անցնող մոլեկուլների թվին, ապա հեղուկի և գոլորշու միջև հաստատվում է շարժուն հավասարակշռություն: Իր հեղուկի հետ շարժուն հավասարակշռության մեջ գտնվող գոլորշին կոչվում է հագեցած: Հագեցած գոլորշու ճնշումը կախված է ջերմաստիճանից, հեղուկի տեսակից և կախված չէ գոլորշու ծավալից:
2. Հեղուկի եռման ջերմաստիճանը որոշվում է պղպջակներում հագեցած գոլորշու ճնշման և հեղուկի մակերևույթին արտաքին ճնշման հավասարության պայմանից: Որքան մեծ է արտաքին ճնշումը, այնքան բարձր է եռման ջերմաստիճանը:
3. Ջրային գոլորշի պարունակող օդը կոչվում է խոնավ: Օդի խոնավությունը բնութագրող մեծություններն են օդի բացարձակ ու հարաբերական խոնավությունները և ցողի կետի ջերմաստիճանը:

17 ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ



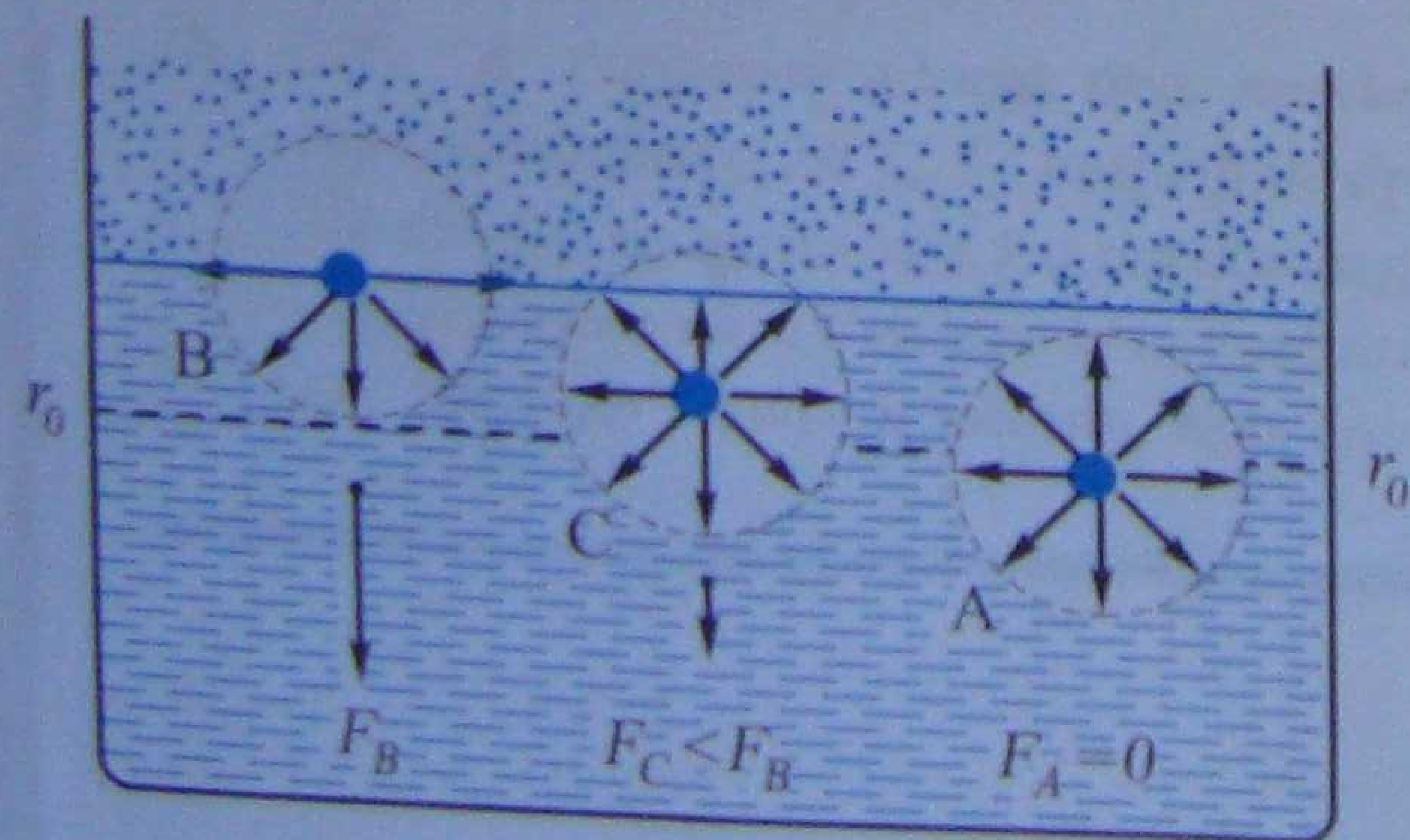
§ 82. Մակերևութային լարվածություն

Նյութի ագրեգատային վիճակներն ուսումնասիրելիս նշվեց, որ հեղուկներում միջմոլեկուլային միջին հեռավորությունները մոլեկուլների d բնութագրական չափերի (մոլեկուլի «տրամագծի») կարգի մեծություններ են: Ուստի նրանց միջև գործում են զգալի ձգողության ուժեր, որոնց գոյությունը դրսևորվում է մի շարք երևույթներում: Ծանոթանանք այդ դրսևորումներից մեկին՝ ***մակերևութային լարվածության*** երևույթին:

Ինչպես գիտենք, մոլեկուլային փոխազդեցության ուժերն իրենց բնույթով կարճազդու են, այսինքն՝ ազդում են համեմատաբար փոքր՝ $r_0 \sim (1 \div 2)d$ կարգի հեռավորությունների վրա: r_0 մեծությունն անվանում են մոլեկուլային ուժերի ***ազդեցության շառավիղ***: Եթե երկու մոլեկուլների հեռավորությունը գերազանցում է r_0-ն, ապա դրանք գործնականորեն միմյանց հետ չեն փոխազդում:

Հեղուկի խորքում մտովի առանձնացնենք որևէ A մոլեկուլ և նրա շուրջը գծենք r_0 շառավղով մի գնդոլորտ՝ ***A մոլեկուլի ազդեցության ոլորտը*** (նկ. 190): Նրանում գտնվող մոլեկուլները ձգվում են A մոլեկուլի կողմից, իսկ նրանից դուրս գտնվողները չեն փոխազդում A-ի հետ: Ազդեցության ոլորտում կգտնվեն մեծ թվով մոլեկուլներ, և նրանց կողմից A մոլեկուլի վրա ազդող միջին ուժը հավասար կլինի զրոյի: Սա է պատճառը, որ հեղուկում մոլեկուլները կարող են ազատ շարժվել միմյանց նկատմամբ: «Ցատկերի» արդյունքում որոշ մոլեկուլներ ազդեցության ոլորտից կարող են հեռանալ, ուրիշ մոլեկուլներ կարող են մտնել ազդեցության ոլորտ, սակայն պատկերը ժամանակի ընթացքում կմնա անփոփոխ:

Եթե մոլեկուլը գտնվում է հեղուկի մակերևույթին (օրինակ՝ B մոլեկուլը, (նկ. 190)), ապա նրա ազդեցության ոլորտի ստորին կեսը լցնում են հեղուկի, իսկ վերին կեսը՝ հեղուկից վեր գտնվող գազի (գոլորշու) մոլեկուլները : Քանի որ գոլորշու խտությունը շատ անգամ փոքր է հեղուկի խտությունից, ապա B մոլեկուլի ազդեցության ոլորտի վերին կեսում մոլեկուլների թիվը շատ փոքր կլինի ստորին կեսում մոլեկուլների թվից: Հետևաբար՝ B մոլեկուլի վրա ազդող ձգողության ուժերի համազորն ուղղված կլինի հեղուկի մակերևույթին ուղղահայաց՝ դեպի հեղուկի խորքը:



Նկ. 190

Հեղուկի մակերևույթի մոտ առանձնացված r_0 հաստությամբ շերտի ցանկացած մոլեկուլի վրա ազդում է այդ մակերևույթին ուղղահայաց և դեպի հեղուկի

խորքն ուղղված մի ուժ, որի մոդուլը մակերևույթից դեպի ծավալ խորանալիս փոքրանում է և $r \geq r_0$ խորության վրա դառնում հավասար զրոյի:

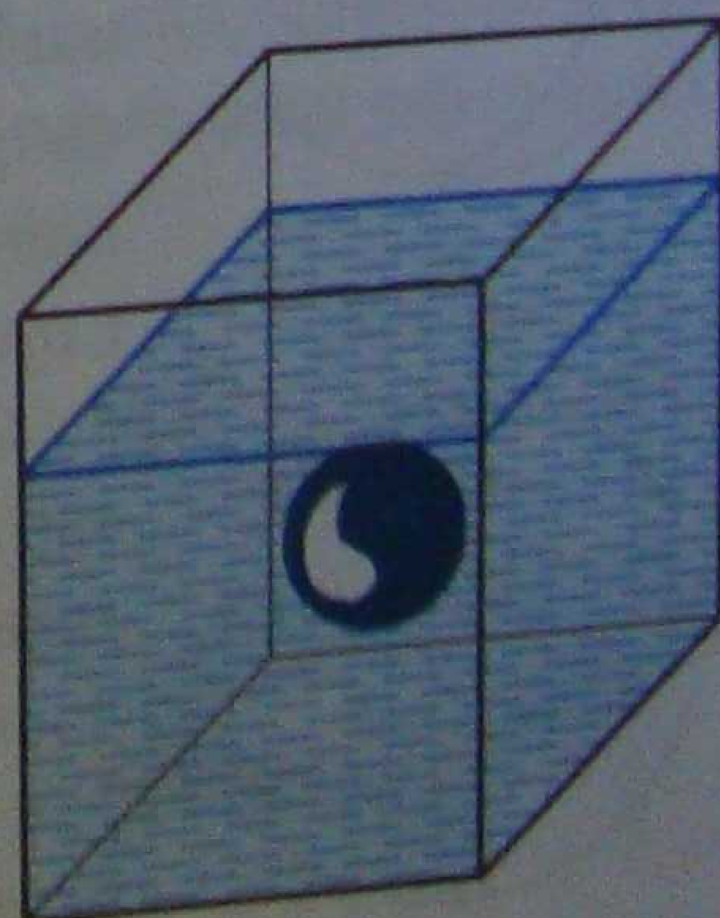
Մակերևութային շերտի կողմից հեղուկի վրա ազդող ճնշման ուժերի ազդեցության հետևանքով հեղուկը գտնվում է սեղմված վիճակում, ուստի հեղուկի խորքում մոլեկուլների միջև միջին հեռավորությունն ավելի փոքր կլինի, քան մակերևութային շերտում: Այս պատճառով մակերևութային շերտի մոլեկուլների փոխադարձ ձգողության ուժերի շնորհիվ հեղուկի մակերևութային շերտը կգտնվի ձգված և լարված վիճակում:

Հեղուկի խորքում գտնվող A մոլեկուլի և մակերևութային շերտում գտնվող B մոլեկուլի վիճակների տարբերությունը պարզորոշ է դրսևորվում հատկապես էներգիական տեսանկյունից: Հեղուկի ողջ ծավալում հաստատուն ջերմաստիճանում մոլեկուլների միջին կինետիկ էներգիան միևնույնն է: Սակայն եթե համեմատենք մոլեկուլների պոտենցիալ էներգիաները, ապա կհամոզվենք, որ դրանք միևնույնն են միայն հեղուկի խորքում գտնվող մասնիկների համար: Մակերևութային շերտի մոլեկուլներն ունեն ավելի մեծ պոտենցիալ էներգիա խորքում գտնվողների համեմատությամբ, քանի որ մոլեկուլը հեղուկի խորքից մակերևութային շերտ մտցնելու համար անհրաժեշտ է կատարել որոշակի աշխատանք ձգողության ուժերի համազորի դեմ:

Որքան մեծ է հեղուկի մակերևույթի մակերեսը, այնքան շատ մոլեկուլներ են օժտված այդ հավելուրդային պոտենցիալ էներգիայով: Հետևաբար՝ տրված զանգվածով հեղուկի մակերևույթի մակերեսը մեծանալիս (օրինակ՝ հեղուկի մեծ կաթիլը մանր կաթիլների տրոհելիս) հեղուկի ներքին էներգիան մեծանում է: Ներքին էներգիայի մեջ մակերևութային շերտի բաժինը համեմատական է մակերևութային շերտի մակերեսին, ուստի այն անվանում են մակերևութային էներգիա: Մոլեկուլային ձգողության ուժերի ազդեցությամբ հնարավորության դեպքում մակերևութային շերտի մոլեկուլները ձգտում են անցնել հեղուկի խորքը, ուստի տրված պայմաններում հեղուկի մակերևույթի մակերեսը նվազագույնն է:

Հեղուկի՝ իր մակերևույթի մակերեսը հնարավորինս փոքրացնելու ձգտումը հստակ դրսևորվում է տարբեր երևույթներում: Այսպես, հեղուկի փոքրիկ կաթիլներն ընդունում են գնդի ձև, օրինակ՝ սնդիկի կաթիլները հորիզոնական հարթ ապակու մակերևույթին, ջրի կաթիլները՝ շիկացած ջեռուցչի մակերևույթին, երբ նրա վրա է ընկնում ջրի շիթը, կամ ջրի կաթիլները՝ փոշոտ ճանապարհին և այլն: Հեղուկի այսպիսի վարքը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ տրված զանգվածի (ծավալի) դեպքում ամենափոքր մակերեսով մակերևույթ ունի գունդը: Փոքրիկ կաթիլի դեպքում ծանրության ուժի ազդեցությամբ պայմանավորված դեֆորմացիան փոքր է, և մոլեկուլային ուժերի ազդեցությամբ կաթիլն ընդունում է գնդի ձև: Մասնավորապես, անկշռության պայմաններում ծանրության ուժը չի դեֆորմացնում կաթիլը, և այն ընդունում է գնդի տեսք, ընդ որում, գունդը կարող է ունենալ (կախված հեղուկի քանակից) ցանկացած շառավիղ:

Մեծ գնդային կաթիլ կարելի է ստանալ ոչ միայն անկշռության պայմաններում: Եթե կերակրի աղի ջրային լուծույթի մեջ լցնենք անիլին և աղաջրի խտությունը դարձնենք հավասար անիլինի խտությանը, ապա կտեսնենք, որ անիլինի կաթիլը լողում է ջրում՝ ընդունելով գնդի տեսք (նկ. 191): Այս դեպ-



Նկ. 191

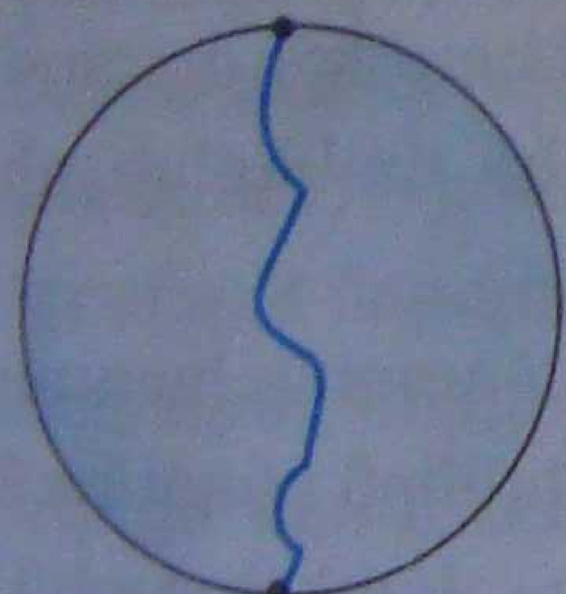
բում գնդի ցանկացած կետում հիդրոստատիկ ճնշումը համակշռվում է աղացքի հիդրոստատիկ ճնշմամբ, իսկ մոլեկուլային ձգողության ուժերը կաթիլին տալիս են գնդի ձև:

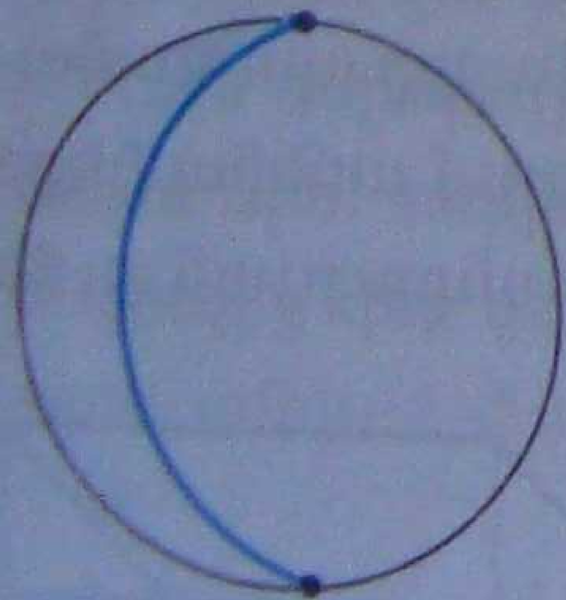
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է մոլեկուլի ազդեցության ոլորտը:*
2. *Ի՞նչ ուժեր են ազդում հեղուկի խորքում և հեղուկի մակերևութային շերտում գտնվող մոլեկուլների վրա:*
3. *Ինչու՞ հեղուկի փոքրիկ կաթիլներն ընդունում են գնդի ձև:*
4. *Ինչու՞ գդալից ծորացող մեղրի բարակ շիթը, կտրվելով, վերածվում է դեպի գդալը բարձրացող գնդիկի:*
5. *Երբ կտրված ապակու սուր եզրը պահենք բոցի վրա մինչև նրա փափկելը, ապա այն կընդունի կոր մակերևույթի տեսք: Բացատրե՛ք նկարագրված երևույթը:*
6. *Ինչու՞ է անկշռության պայմաններում ցանկացած քանակով հեղուկն ընդունում գնդի տեսք:*

§ 83. Մակերևութային լարվածության ուժ

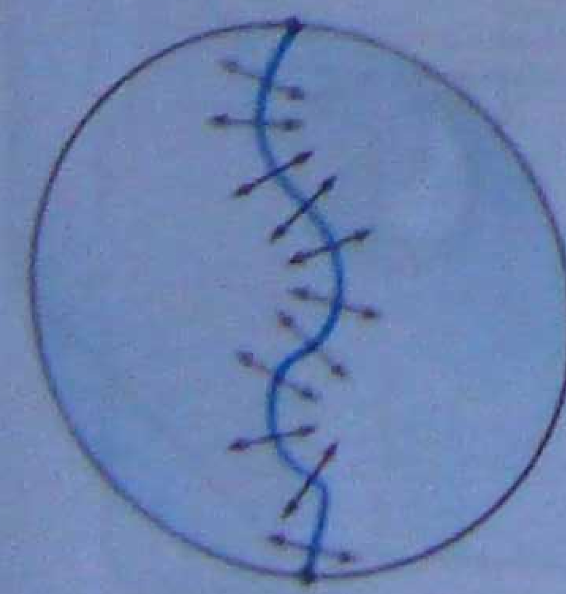
Հեղուկի՝ տրված պայմաններում հնարավոր ամենափոքր մակերևույթի մակերես ունենալու ձգտումը հատկապես ցայտուն ձևով է դրսևորվում հետևյալ փորձում: Բարակ թելի երկու ծայրերն ամրացնենք օղակին և, օղակը մտցնելով օճառաջրի լուծույթի մեջ, ստանանք օղակի մակերեսը պատող թաղանթ (նկ. 192,*ա*): Քանի դեռ թաղանթն ամբողջական է, թելն ունի այն ձևը, ինչ այն պատահաբար ընդունել էր օճառաջրի թաղանթն առաջանալիս: Եթե այժմ թելի մի կողմում թաղանթը վերացնենք (օրինակ՝ ծակենք), ապա մյուս կողմում մնացած թաղանթն իսկույն կփոքրացնի իր մակերևույթի մակերեսը և կձգի թելը (նկ. 192,*բ*): Հեղուկի մակերևույթի մակերեսը հնարավորինս փոքրացնելու ձգտումը կարելի է արտահայտել քանակապես՝ ներմուծելով ***մակերևութային լարվածության ուժի*** հասկացությունը:


ա


բ

Նկ. 192

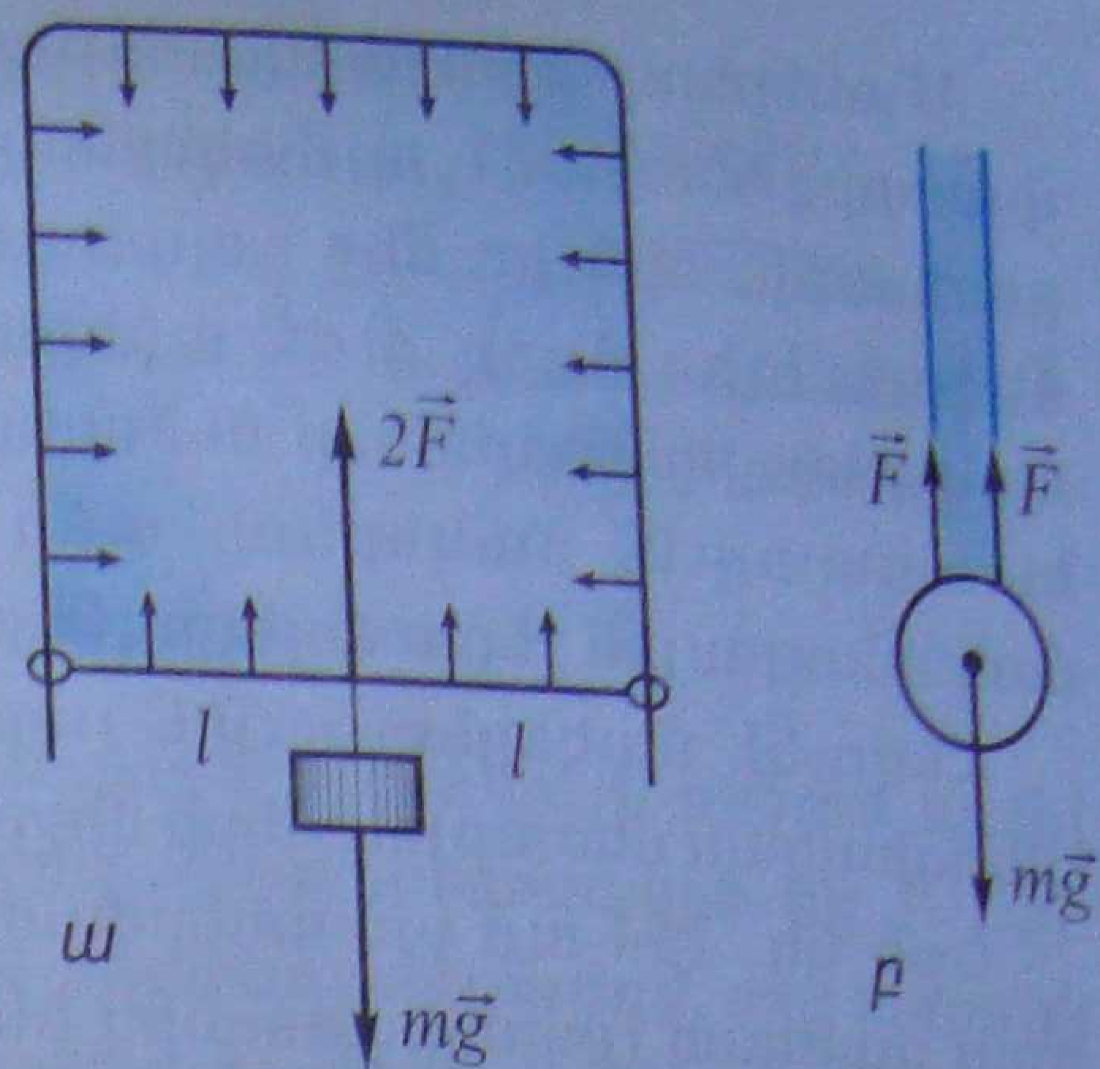
Օճառաջրի ամբողջական թաղանթի դեպքում թելը, անկախ իր ունեցած ձևից, գտնվում է հավասարակշռության վիճակում: Այս փաստից հետևում է, որ թելի յուրաքանչյուր հատվածի վրա նրա տարբեր կողմերում գտնվող մոլեկուլների կողմից ազդող ուժերը մոդուլով հավասար են և ուղղված են տարբեր կողմեր՝ լինելով ուղղահայաց այդ հատվածին (նկ. 193): Վերացնելով մի կողմի թաղանթը՝ մենք դրանով վերացնում ենք թելի վրա մի կողմից ազդող ուժը, ուստի մյուս կողմից ազդող և չհամակշռված ուժերի շնորհիվ թելն ընդունում է որոշակի ձև՝ գտնվելով լարված վիճակում:


Նկ. 193

Մակերևութային լարվածության ուժը որոշելու համար օճառաջրի մեջ իջեցնենք մետաղալարից պատրաստված մի ուղղանկյուն շրջանակ, որի ստորին կողմը շարժական է (նկ. 194,*ա*): Շրջանակի վրա առաջացած թաղանթը մակերևութային լարվածության ուժերով դեպի վեր է ձգում շարժական կողմը, որը հավասարակշռության մեջ պահելու համար անհրաժեշտ է ազդել դեպի ներքև ուղղված ուժով՝ փոքրիկ բեռի կշռով (նկ. 194,*բ*-ում շարժական կողմի

տրամագիծը և թաղանթի հաստությունը մեծացված են): Չափելով թաղանթի երկու մակերևույթների $2l$ սահմանագծի վրա ազդող $2F$ ուժը, որը հավասար է բեռի mg կշռին, սահմանագծի միավոր երկարության վրա ազդող ուժի համար կստանանք՝

$$\sigma = \frac{mg}{2l} = \frac{2F}{2l} = \frac{F}{l}: \qquad (17.1)$$



Նկ. 194

σ մեծությունը կոչվում է ***հեղուկի մակերևութային լարվածություն*** և արտահայտվում է Ն/մ միավորով: l սահմանագծի վրա ազդող մակերևութային լարվածության ուժը՝

$$\boxed{F = \sigma l}, \qquad (17.2)$$

գտնվում է թաղանթի հարթության մեջ և ուղղահայաց է l կողմին:

Մակերևութային լարվածությունը կախված է հեղուկի տեսակից:

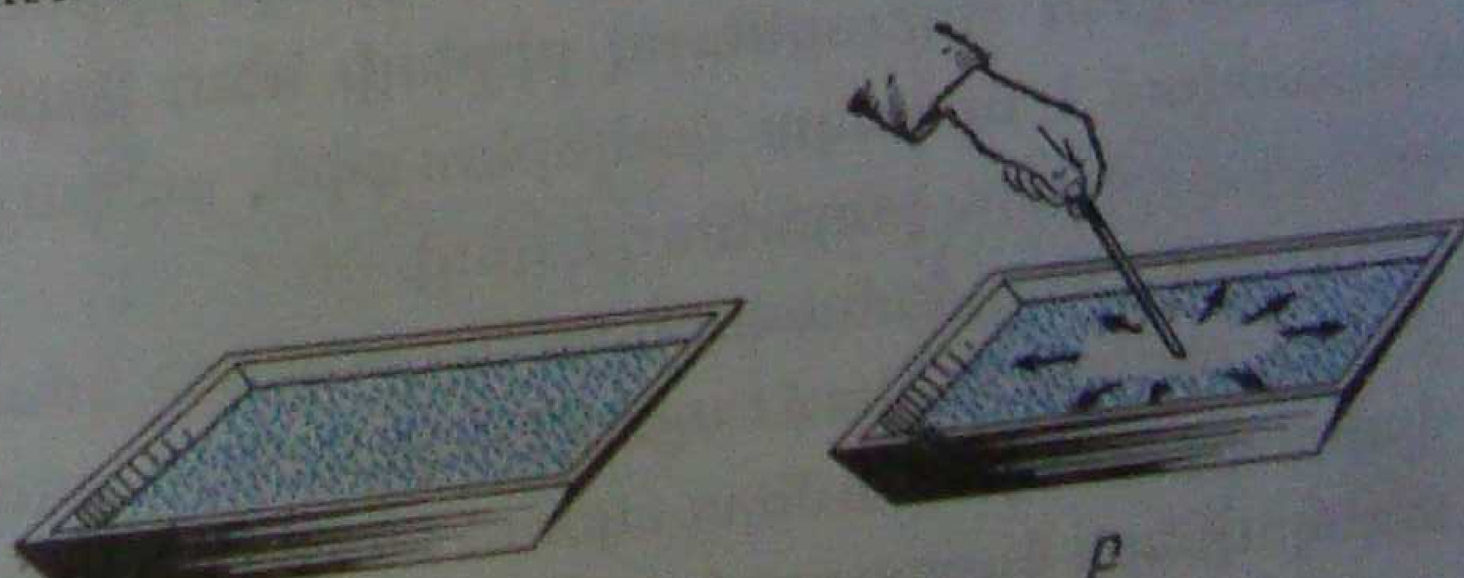
Աղյուսակ 3-ում բերված են մի քանի հեղուկի մակերևութային լարվածության արժեքները: Բերված տվյալներից հետևում է, որ հեշտ գոլորշացող հեղուկների (սպիրտ, եթեր) համար σ-ն, հետևաբար՝ նաև մոլեկուլային փոխազդեցության (ձգողության) ուժերը ավելի փոքր են, քան չցնդող հեղուկներինը (օրինակ՝ սնդիկինը): Հենց նույն պատճառով եթերի և սպիրտի հագեցած գոլորշիների ճնշումը տրված ջերմաստիճանում ավելի մեծ է (§ 79):

Աղյուսակ 3

Նյութ	t,°C	σ, Ն/մ
Ջուր (մաքուր)	20	0,0725
Օճառի լուծույթ	20	0,040
Սպիրտ	20	0,022
Եթեր	25	0,017
Հեղուկ ջրածին	և 253	0,0021
Հեղուկ հելիում	և 269	0,00012
Սնդիկ	20	0,470
Ոսկի (հալույթ)	1130	1,102

Մակերևութային լարվածությունը կախված է հեղուկում խառնուրդների առկայությունից, որոնք, որպես կանոն, փոքրացնում են σ-ի արժեքը: Դրանում դժվար չէ համոզվել հետևյալ դիտարժան փորձով: Եթե տալկի փոշով պատված ջրի մակերևույթին հեռանում կաթեցնենք եթերի մի կաթիլ, ապա կտեսնենք, որ փոշին կաթիլից արագորեն հեռանում է բոլոր ուղղություններով՝ ջրի մակերևույթին առաջացնելով շրջանաձև հետք՝ ջրի մաքուր մակերևույթը (նկ. 195,*ա,բ*): Բանն այն է, որ եթերի կաթեցման տիրույթում σ-ն փոքրանում է, և «եթեր-ջուր» սահմանի վրա ջրի կողմից ազդող ավելի մեծ մակերևութային լարվածության ուժի շնորհիվ այդ սահմանը տեղափոխվում է դեպի մաքուր ջրի տիրույթ, իսկ փոշին միայն տեսանելի է դարձնում սահմանի տեղաշարժը:

Մակերևութային լարվածությունը կախված է հեղուկի ջերմաստիճանից, քանի որ ջերմաստիճանի փոփոխության հետ փոփոխվում են միջմոլեկուլային փոխազդեցության ուժերը: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս ջրի մակերևութային լարվածությունը փոքրանում է:



Նկ. 195

Մակերևութային լարվածությունը կախված չէ հեղուկի մակերևույթի մակերեսից: Այս փաստից հետևում է, որ մակերևութային շերտը բոլորովին նման չէ բարակ, առաձգական թաղանթի, որն իր մեջ «պահում» է հեղուկը: Իրոք, ռետինե թաղանթի մակերեսը մեծացնելիս ծգող ուժն անհրաժեշտ է անընդհատ մեծացնել, այնինչ հեղուկի մակերևույթի մակերեսը մեծացնելիս կիրառված ուժը (տրված l-ի համար) մնում է հաստատուն. մակերեսի աճը պայմանավորված է հեղուկի ծավալից դեպի մակերևութային շերտ մոլեկուլների լրացուցիչ քանակի անցմամբ:

Հեղուկի մակերևութային լարվածության իմաստը կարելի է մեկնաբանել նաև էներգիական մեծությունների միջոցով:

Եթե նկ. 194-ում պատկերված փորձում, հաստատուն պահելով ջերմաստիճանը, շատ դանդաղ (քվազիստատիկ ձևով) մեծացնենք թաղանթի մակերեսը` $l$ կողմն իջեցնելով $\Delta x$ չափով, ապա արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը` $A = F_{ш}\Delta x$: Մակերևութային լարվածության ուժերի համազորի կատարած աշխատանքը`

$$A' = -A = -2\sigma l\Delta x = -\sigma\Delta S \quad (17.3)$$

քանի որ, ըստ (17.2) բանաձևի, $F_{ш} = 2F = \sigma 2l$, իսկ թաղանթի երկու մակերևույթների մակերեսների ընդհանուր փոփոխությունը` $\Delta S = 2l\Delta x$: Եթե հեղուկի մակերևույթի ընդհանուր մակերեսը մեծանում է` $\Delta S > 0$, ապա արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը` $A > 0$: Ուստի σ-ն կարելի է սահմանել որպես հեղուկի մակերևույթի մակերեսը հաստատուն ջերմաստիճանում միավոր մակերեսով մեծացնելու համար պահանջվող աշխատանք: σ-ի միավորն է Ջ/մ^2 -ն, որը, բնականաբար, համընկնում է Ն/մ -ի հետ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք մակերևութային լարվածության սահմանումը:*
2. *Ինչի՞ց է կախված մակերևութային լարվածության արժեքը:*
3. *Ինչպե՞ս է ուղղված մակերևութային լարվածության ուժը:*
4. *Եթե ջրի մակերևույթին թել դնենք և նրա մի կողմում եթեր կաթեցնենք, ապա թելը կտեղափոխվի: Բացատրե՛ք այս երևույթը և պարզե՛ք, թե թելը որ կողմ կշարժվի: (Օգտվե՛ք աղ. 3-ում բերված տվյալներից:)*
5. *Որո՞նք են մակերևութային լարվածության ուժերի և առաձգականության ուժերի տարբերությունն ու նմանությունը:*

§ 84. Թրջում: Մազական երևույթներ

Սնդիկի փոքրիկ կաթիլներն ապակու մակերևույթին ընդունում են գնդի ձև: Սակայն եթե սնդիկի կաթիլը դրվի մաքուր ցինկե թիթեղի վրա, ապա այն կտարածվի թիթեղի մակերևույթով` մեծացնելով թիթեղի հետ հպման մակերեսը (նկ. 196): Ջրի կաթիլը տարածվում է ապակու մակերևույթին, սակայն յուղով կամ պարաֆինով պատված մակերևույթի վրա ընդունում է գնդի ձև:

Ինչո՞վ է պայմանավորված հեղուկների նման վարքը:

Եթե հեղուկը հպվում է պինդ մակերևույթի, ապա հեղուկի և պինդ մարմնի մոլեկուլների փոխազդեցության ուժերը սկսում են էական դեր խաղալ: Եթե հեղուկի և պինդ մարմնի մոլեկուլների ձգողության ուժերը գերազանցում են հեղուկի մոլեկուլների ձգողության ուժերը, ապա հեղուկը տարածվում է պինդ մարմնի մակերևույթով: Հակառակ դեպքում,

Մակերևութային լարվածությունը կախված չէ հեղուկի մակերևույթի մակերեսից: Այս փաստից հետևում է, որ մակերևութային շերտը բոլորովին նման չէ բարակ, առաձգական թաղանթի, որն իր մեջ «պահում» է հեղուկը: Իրոք, ռետինե թաղանթի մակերեսը մեծացնելիս ձգող ուժն անհրաժեշտ է անընդհատ մեծացնել, այնինչ հեղուկի մակերևույթի մակերեսը մեծացնելիս կիրառված ուժը (տրված l-ի համար) մնում է հաստատուն. մակերեսի աճը պայմանավորված է հեղուկի ծավալից դեպի մակերևութային շերտ մոլեկուլների լրացուցիչ քանակի անցմամբ:

Հեղուկի մակերևութային լարվածության իմաստը կարելի է մեկնաբանել նաև էներգիական մեծությունների միջոցով:

Եթե նկ. 194-ում պատկերված փորձում, հաստատուն պահելով ջերմաստիճանը, մեծացնենք թաղանթի մակերեսը՝ l կողմն իջեցնելով (թվազիստատիկ ձևով) մեծացնենք թաղանթի մակերեսը՝ l կողմն իջեցնելով Δx չափով, ապա արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը՝ $A = F_{ա}\Delta x$: Մակերևութային լարվածության ուժերի համազորի կատարած աշխատանքը՝

$$A' = -A = -2\sigma l\Delta x = -\sigma\Delta S, \qquad (17.3)$$

քանի որ, ըստ (17.2) բանաձևի, $F_{ա} = 2F = \sigma 2l$, իսկ թաղանթի երկու մակերևույթների մակերեսների ընդհանուր փոփոխությունը՝ $\Delta S = 2l\Delta x$: Եթե հեղուկի մակերևույթի ընդհանուր մակերեսը մեծանում է՝ $\Delta S > 0$, ապա արտաքին ուժի կատարած աշխատանքը՝ $A > 0$: Ուստի σ-ն կարելի է սահմանել որպես հեղուկի մակերևույթի մակերեսը հաստատուն ջերմաստիճանում միավոր մակերեսով մեծացնելու համար պահանջվող աշխատանք: σ-ի միավորն է Ջ/մ² -ն, որը, բնականաբար, համընկնում է Ն/մ -ի հետ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք մակերևութային լարվածության սահմանումը:*
2. *Ինչի՞ց է կախված մակերևութային լարվածության արժեքը:*
3. *Ինչպե՞ս է ուղղված մակերևութային լարվածության ուժը:*
4. *Եթե ջրի մակերևույթին թել դնենք և նրա մի կողմում եթեր կաթեցնենք, ապա թելը կտեղափոխվի: Բացատրե՛ք այս երևույթը և պարզե՛ք, թե թելը որ կողմ կշարժվի: (Օգտվե՛ք աղ. 3-ում բերված տվյալներից:)*
5. *Որո՞նք են մակերևութային լարվածության ուժերի և առաձգականության ուժերի տարբերությունն ու նմանությունը:*

§ 84. Թրջում: Մազական երևույթներ

Սնդիկի փոքրիկ կաթիլներն ապակու մակերևույթին ընդունում են գնդի ձև: Սակայն եթե սնդիկի կաթիլը դրվի մաքուր ցինկե թիթեղի վրա, ապա այն կտարածվի թիթեղի մակերևույթով՝ մեծացնելով թիթեղի հետ հպման մակերեսը (նկ. 196): Ջրի կաթիլը տարածվում է ապակու մակերևույթին, սակայն յուղով կամ պարաֆինով պատված մակերևույթի վրա ընդունում է գնդի ձև:

Ինչո՞վ է պայմանավորված հեղուկների նման վարքը:

Եթե հեղուկը հպվում է պինդ մակերևույթի, ապա հեղուկի և պինդ մարմնի մոլեկուլների փոխազդեցության ուժերը սկսում են էական դեր խաղալ: Եթե հեղուկի և պինդ մարմնի մոլեկուլների ձգողության ուժերը գերազանցում են հեղուկի մոլեկուլների ձգողության ուժերը, ապա հեղուկը տարածվում է պինդ մարմնի մակերևույթով: Հակառակ դեպքում,

երբ հեղուկ-պինդ մարմին ծգողությունը չի գերազանցում հեղուկի մոլեկուլների միջև ձգողությանը, հեղուկը ձգտում է ընդունել գնդի ձև: Առաջին դեպքում ընդունված է ասել, որ հեղուկը թրջում է տվյալ պինդ մարմինը (օրինակ՝ ջուրը թրջում է ապակին, սնդիկը թրջում է ցինկը, նկ. 197,ա), իսկ երկրորդ դեպքում՝ հեղուկը չի թրջում պինդ մարմինը (օրինակ՝ ջուրը չի թրջում յուղոտ թուղթը, սնդիկը չի թրջում ապակին. նկ. 197,բ):





Նկ. 196

Թրջման երևույթը քանակապես բնութագրվում է θ ***թրջման անկյունով***, որը հեղուկի մակերևույթին տարված շոշափող հարթության և պինդ մարմնի մակերևույթի միջև անկյունն է: Եթե հեղուկը թրջող է, ապա թրջման անկյունը սուր է՝ $\theta < 90°$ (նկ. 197,ա), իսկ եթե չթրջող է, ապա թրջման անկյունը բութ է՝ $90° < \theta < 180°$ (նկ. 197,բ): Լրիվ թրջման դեպքում $\theta = 0$, իսկ լրիվ չթրջման դեպքում $\theta = 180°$:

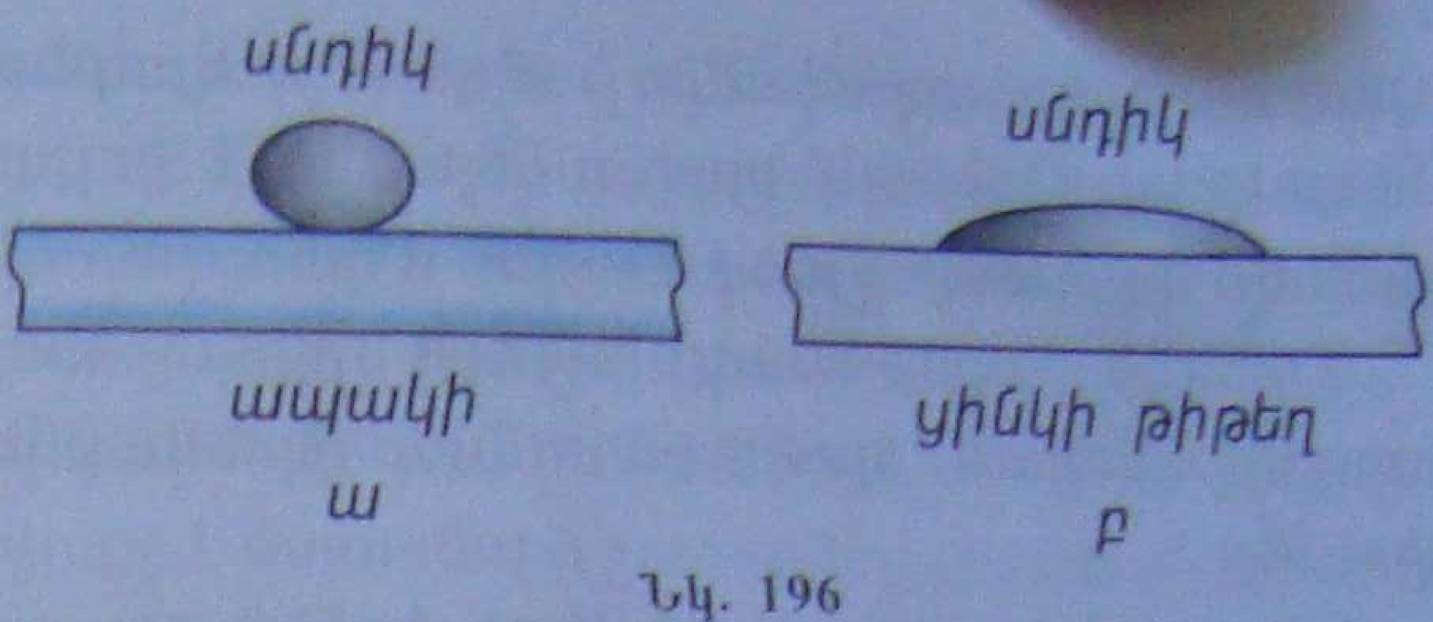
Թրջման երևույթն ազդում է անոթում հեղուկի ազատ մակերևույթի ձևի վրա: Եթե հեղուկը լցված է լայն անոթի մեջ, ապա նրա մակերևույթի ձևը որոշվում է ծանրության ուժով, որն ապահովում է հեղուկի մակերևույթի հարթ լինելը և հորիզոնական դիրքը: Սակայն անոթի պատերի անմիջական մոտակայքում հեղուկի մակերևույթն այնուամենայնիվ կորանում է: Եթե հեղուկը թրջում է անոթի պատը, ապա պատի մոտ հեղուկը բարձրանում է (նկ. 197,ա), իսկ եթե չի թրջում, ապա պատի մոտ հեղուկն իջնում է (նկ. 197,բ):

Թրջման երևույթն ունի մեծ գործնական նշանակություն: Այն օգտագործվում է սոսնձման, զոդման, ներկման և այլ պրոցեսներում և հատկապես հանքարդյունաբերության մեջ՝ հանքանյութի հարստացման համար:

Հանքահարստացումը կատարվում է հետևյալ եղանակով: Օգտակար հանածո (օրինակ՝ թանկարժեք մետաղ) պարունակող հանքանյութն աղալով վերածում են 0,1÷ 0,01 մմ չափի հատիկներով փոշու և խառնում ջրի հետ: Այնուհետև ջրի մեջ կաթեցնում են որևէ հեղուկ (օրինակ՝ յուղ), որը թրջում է մետաղի հատիկները, սակայն չի թրջում դատարկ ապարը: Ջրի և փոշու խառնուրդի մեջ օդ է մղվում և անընդհատ խառնվում: Օդի պղպջակները կպչում են յուղի բարակ շերտով պարուրված մետաղի հատիկներին: Մետաղի հատիկի և նրան կպած օդի պղպջակի միջին խտությունը ստացվում է ավելի փոքր, քան ջրի խտությունն է, ուստի մետաղահատիկը լողում է դեպի վեր: Դատարկ ապարի հատիկները չեն կպչում օդի պղպջակներին և իջնում են ներքև՝ հավաքվելով անոթի հատակին: Այս եղանակով օգտակար հանածոն անջատում են դատարկ ապարներից և ստանում օգտակար հանածոյով հարուստ և հետագա մշակման համար պիտանի խտանյութ:

Նկ. 197

Մազականություն: Առօրյա կյանքում մենք հաճախ գործ ենք ունենում այնպիսի նյութերի հետ, որոնցում կան բազմաթիվ նեղ անցքեր, օրինակ՝ ծծանը,



Նկ. 196

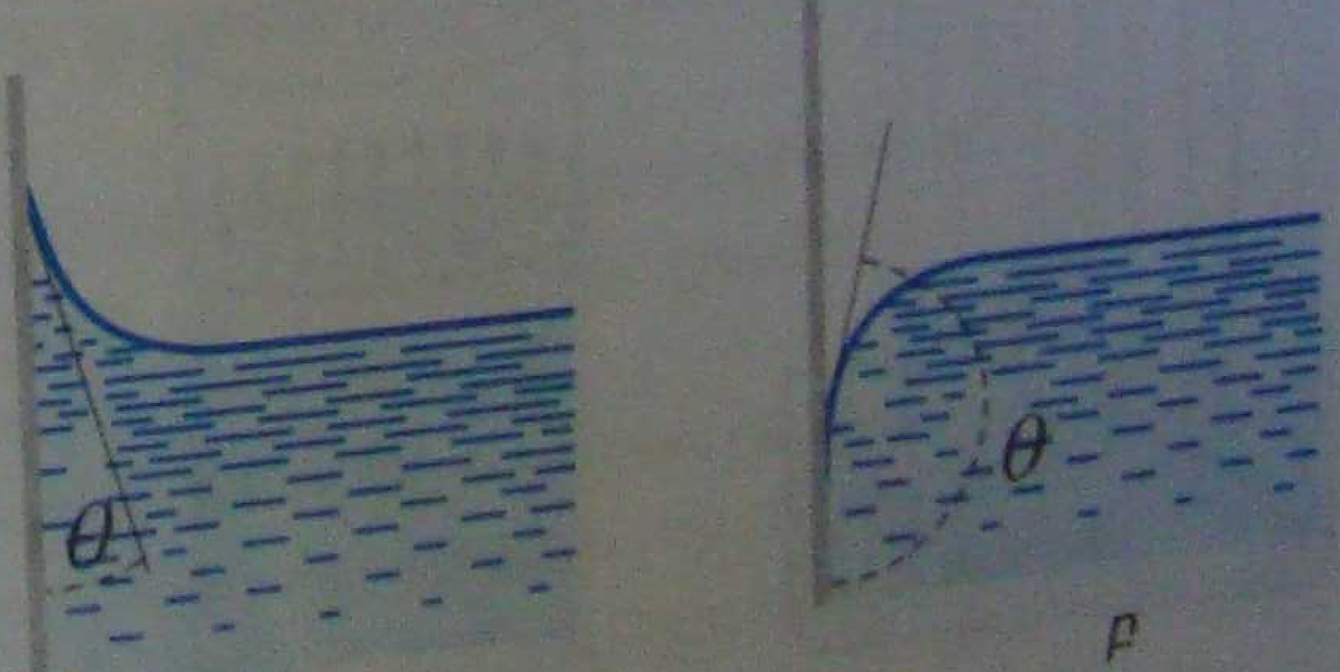
երբ հեղուկ-պինդ մարմին ձգողությունը չի գերազանցում հեղուկի մոլեկուլների միջև ձգողությանը, հեղուկը ձգտում է ընդունել գնդի ձև: Առաջին դեպքում ընդունված է ասել, որ հեղուկը թրջում է տվյալ պինդ մարմինը (օրինակ՝ ջուրը թրջում է ապակին, սնդիկը թրջում է ցինկը, նկ. 197,*ա*), իսկ երկրորդ դեպքում՝ հեղուկը չի թրջում պինդ մարմինը (օրինակ՝ ջուրը չի թրջում յուղոտ թուղթը, սնդիկը չի թրջում ապակին. նկ. 197,*բ*):

Թրջման երևույթը քանակապես բնութագրվում է θ ***թրջման անկյունով***, որը հեղուկի մակերևույթին տարված շոշափող հարթության և պինդ մարմնի մակերևույթի միջև անկյունն է: Եթե հեղուկը թրջող է, ապա թրջման անկյունը սուր է՝ $\theta < 90°$ (նկ. 197,*ա*), իսկ եթե չթրջող է, ապա թրջման անկյունը բութ է՝ $90° < \theta < 180°$ (նկ. 197,*բ*): Լրիվ թրջման դեպքում $\theta = 0$, իսկ լրիվ չթրջման դեպքում $\theta = 180°$:

Թրջման երևույթն ազդում է անոթում հեղուկի ազատ մակերևույթի ձևի վրա: Եթե հեղուկը լցված է լայն անոթի մեջ, ապա նրա մակերևույթի ձևը որոշվում է ծանրության ուժով, որն ապահովում է հեղուկի մակերևույթի հարթ լինելը և հորիզոնական դիրքը: Սակայն անոթի պատերի անմիջական մոտակայքում հեղուկի մակերևույթն այնուամենայնիվ կորանում է: Եթե հեղուկը թրջում է անոթի պատը, ապա պատի մոտ հեղուկը բարձրանում է (նկ. 197,*ա*), իսկ եթե չի թրջում, ապա պատի մոտ հեղուկն իջնում է (նկ. 197,*բ*):

Թրջման երևույթն ունի մեծ գործնական նշանակություն: Այն օգտագործվում է սոսնձման, զոդման, ներկման և այլ պրոցեսներում և հատկապես հանքարդյունաբերության մեջ՝ հանքանյութի հարստացման համար:

Հանքահարստացումը կատարվում է հետևյալ եղանակով: Օգտակար հանածո (օրինակ՝ թանկարժեք մետաղ) պարունակող հանքանյութն աղալով վերածում են 0,1÷0,01 մմ չափի հատիկներով փոշու և խառնում ջրի հետ: Այնուհետև ջրի մեջ կաթեցնում են որևէ հեղուկ (օրինակ՝ յուղ), որը թրջում է մետաղի հատիկները, սակայն չի թրջում դատարկ ապարը: Ջրի և փոշու խառնուրդի մեջ օդ է մղվում և անընդհատ խառնվում: Օդի պղպջակները կպչում են յուղի բարակ շերտով պարուրված մետաղի հատիկներին: Մետաղի հատիկի և նրան կպած օդի պղպջակի միջին խտությունը ստացվում է ավելի փոքր, քան ջրի խտությունն է, ուստի մետաղահատիկը լողում է դեպի վեր: Դատարկ ապարի հատիկները չեն կպչում օդի պղպջակներին և իջնում են ներքև՝ հավաքվելով անոթի հատակին: Այս եղանակով օգտակար հանածոն անջատում են դատարկ ապարներից և ստանում օգտակար հանածոյով հարուստ և հետագա մշակման համար պիտանի խտանյութ:



Նկ. 197

Մազականություն: Առօրյա կյանքում մենք հաճախ գործ ենք ունենում այնպիսի նյութերի հետ, որոնցում կան բազմաթիվ նեղ անցքեր, օրինակ՝ ծծանը,

երբ հեղուկ-պինդ մարմին ձգողությունը չի գերազանցում հեղուկի մոլեկուլների միջև ձգողությանը, հեղուկը ձգտում է ընդունել գնդի ձև: Առաջին դեպքում ընդունված է ասել, որ հեղուկը թրջում է տվյալ պինդ մարմինը (օրինակ՝ ջուրը թրջում է ապակին, սնդիկը թրջում է ցինկը, նկ. 197,ա), իսկ երկրորդ դեպքում՝ հեղուկը չի թրջում պինդ մարմինը (օրինակ՝ ջուրը չի թրջում յուղոտ թուղթը, սնդիկը չի թրջում ապակին. նկ. 197,բ):





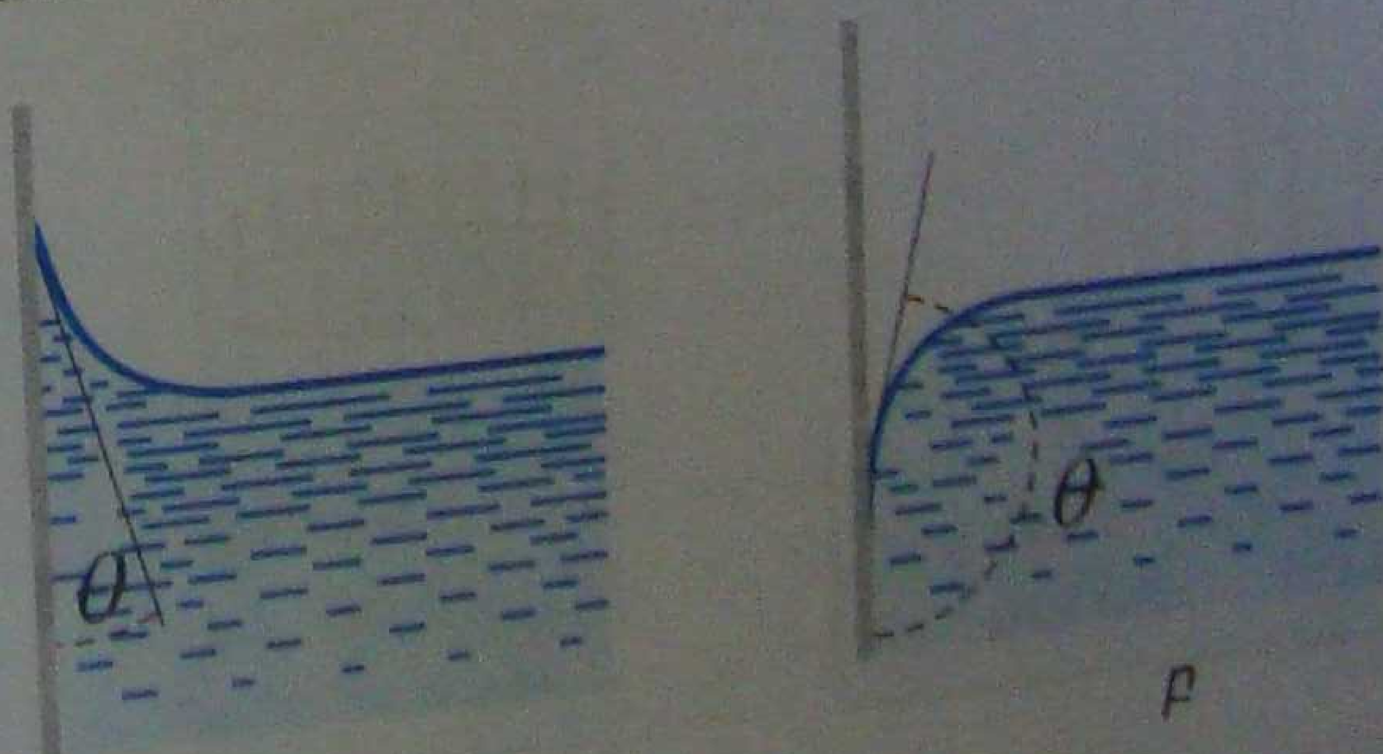
Նկ. 196

Թրջման երևույթը քանակապես բնութագրվում է θ ***թրջման անկյունով***, որը հեղուկի մակերևույթին տարված շոշափող հարթության և պինդ մարմնի մակերևույթի միջև անկյունն է: Եթե հեղուկը թրջող է, ապա թրջման անկյունը սուր է՝ $\theta < 90°$ (նկ. 197,ա), իսկ եթե չթրջող է, ապա թրջման անկյունը բութ է՝ $90° < \theta < 180°$ (նկ. 197,բ): Լրիվ թրջման դեպքում $\theta = 0$, իսկ լրիվ չթրջման դեպքում $\theta = 180°$:

Թրջման երևույթն ազդում է անոթում հեղուկի ազատ մակերևույթի ձևի վրա: Եթե հեղուկը լցված է լայն անոթի մեջ, ապա նրա մակերևույթի ձևը որոշվում է ծանրության ուժով, որն ապահովում է հեղուկի մակերևույթի հարթ լինելը և հորիզոնական դիրքը: Սակայն անոթի պատերի անմիջական մոտակայքում հեղուկի մակերևույթն այնուամենայնիվ կորանում է: Եթե հեղուկը թրջում է անոթի պատը, ապա պատի մոտ հեղուկը բարձրանում է (նկ. 197,ա), իսկ եթե չի թրջում, ապա պատի մոտ հեղուկն իջնում է (նկ. 197,բ):

Թրջման երևույթն ունի մեծ գործնական նշանակություն: Այն օգտագործվում է սոսնձման, զոդման, ներկման և այլ պրոցեսներում և հատկապես հանքարդյունաբերության մեջ՝ հանքանյութի հարստացման համար:

Հանքահարստացումը կատարվում է հետևյալ եղանակով: Օգտակար հանածո (օրինակ՝ թանկարժեք մետաղ) պարունակող հանքանյութն աղալով վերածում են 0,1÷0,01 մմ չափի հատիկներով փոշու և խառնում ջրի հետ: Այնուհետև ջրի մեջ կաթեցնում են որևէ հեղուկ (օրինակ՝ յուղ), որը թրջում է մետաղի հատիկները, սակայն չի թրջում դատարկ ապարը: Ջրի և փոշու խառնուրդի մեջ օդ է մղվում և անընդհատ խառնվում: Օդի պղպջակները կպչում են յուղի բարակ շերտով պարուրված մետաղի հատիկներին: Մետաղի հատիկի և նրան կպած օդի պղպջակի միջին խտությունը ստացվում է ավելի փոքր, քան ջրի խտությունն է, ուստի մետաղահատիկը լողում է դեպի վեր: Դատարկ ապարի հատիկները չեն կպչում օդի պղպջակներին և իջնում են ներքև՝ հավաքվելով անոթի հատակին: Այս եղանակով օգտակար հանածոն անջատում են դատարկ ապարներից և ստանում օգտակար հանածոյով հարուստ և հետագա մշակման համար պիտանի խտանյութ:



Նկ. 197

Սազականություն: Առօրյա կյանքում մենք հաճախ գործ ենք ունենում այնպիսի նյութերի հետ, որոնցում կան բազմաթիվ նեղ անցքեր, օրինակ՝ ծծանը,

Այս նյութերն ընդունակ են ներծծելու ջուր կամ այլ հեղուկներ: Օրինակ՝ սրբիչը ներծծում է ջուրը, լամպում նավթը կամ սպիրտը բարձրանում են պատրույգով և այլն:

Հեղուկի բարձրանալը կարելի է դիտել նաև շատ նեղ՝ 1մմ-ից փոքր տրամագծով խողովակներում, որոնք ընդունված է անվանել ***մազանոթներ*** կամ ***մազական խողովակներ***:

Եթե ջրով լի լայն անոթի մեջ իջեցնենք տարբեր տրամագծերով մազանոթներ, ապա կտեսնենք, որ ջուրը բարձրանում է մազանոթներով, ընդ որում՝ այնքան ավելի վեր, որքան փոքր է խողովակի տրամագիծը (նկ. 198,*ա*):

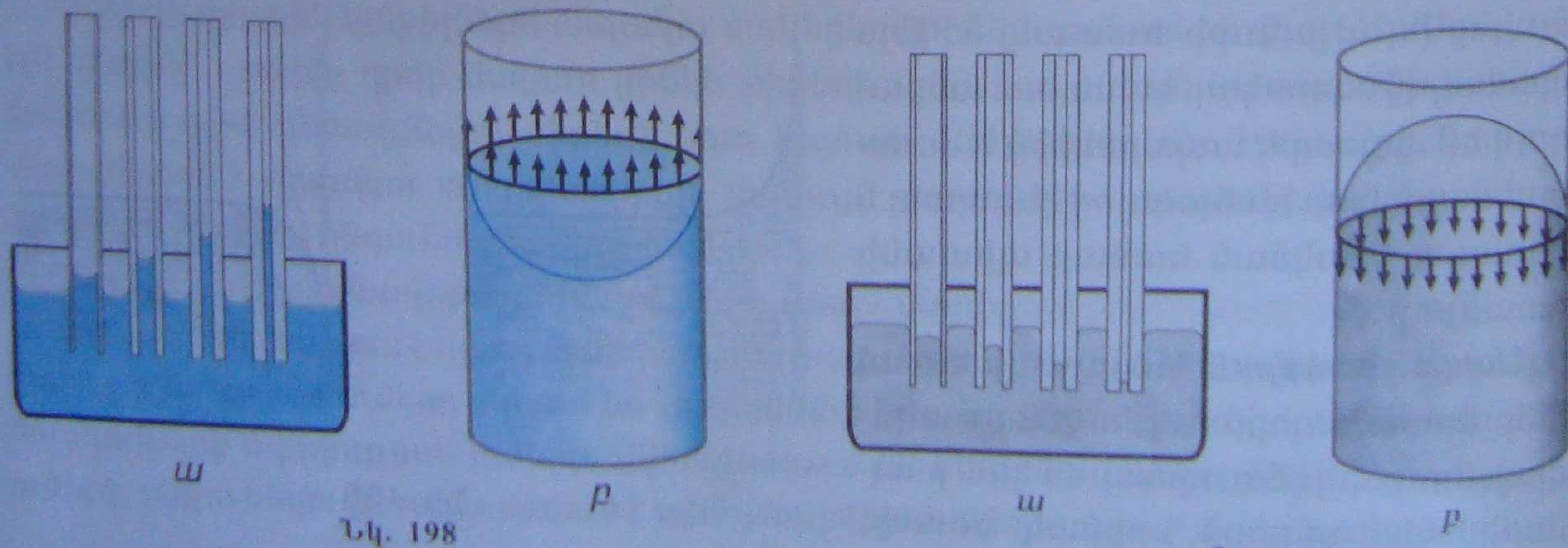
Ջրի բարձրանալն ապակե մազանոթում պայմանավորված է մակերևութային լարվածության ուժերի ազդեցությամբ: Ջուրը թրջում է ապակին, ուստի մազանոթի մեջ՝ պատերի մոտ, ջրի մակերևույթը կորանում է, առաջանում է ***մենիսկ*** (հունարեն «մենիսկոս»՝ լուսնաձև բառից)՝ կոր մակերևույթ, որի մակերեսն ավելի մեծ է, քան մազանոթի հատույթի մակերեսը: Մակերևութային լարվածության ուժերը ձգտում են փոքրացնել մենիսկի կորությունը և դրանով իսկ՝ նրա մակերևույթի մակերեսը, որի հետևանքով ջրի նոր քանակություն է մտնում մազանոթի մեջ: Այս պրոցեսը շարունակվում է այնքան, մինչև որ մակերևութային լարվածության ուժերի ազդեցությունը համակշռվում է մազանոթում հեղուկի սյան հիդրոստատիկ ճնշման ուժով:

Որոշենք մազանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը: Ենթադրենք, որ թրջումը լրիվ է՝ $\theta = 0$: Այս դեպքում մենիսկն իրենից ներկայացնում է կիսոլորտ, որի շառավիղը հավասար է մազանոթի r շառավղին (նկ. 198,*բ*): Մազանոթի վրա նրա պարագծի երկայնքով ազդում են դեպի վեր ուղղված մակերևութային լարվածության ուժերը, որոնց համազորը՝ $F = \sigma l = \sigma 2\pi r$: Նյուտոնի երրորդ օրենքի համաձայն՝ մազանոթը մոդուլով հավասար և հակառակ ուղղված ուժով ազդում է հեղուկի վրա: Հավասարակշռության վիճակում այդ ուժը համակշռվում է h բարձրությամբ հեղուկի սյան վրա ազդող ծանրության ուժով, այսինքն՝

$$2\pi r\sigma = mg = \rho Vg \,, \qquad (17.4)$$

որտեղ ρ-ն հեղուկի խտությունն է, $V = \pi r^2 \cdot h$ -ը՝ հեղուկի սյան ծավալը: (17.4) հավասարումից մազանոթում հեղուկի սյան բարձրության համար կստանանք՝

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \,, \qquad (17.5)$$



Նկ. 198

Նկ. 199

փայտը, հողը, գործվածքը և այլն: Այս նյութերն ընդունակ են ներծծելու ջուր կամ այլ հեղուկներ: Օրինակ՝ սրբիչը ներծծում է ջուրը, լամպում նավթը կամ սպիրտը բարձրանում են պատրույգով և այլն:

Հեղուկի բարձրանալը կարելի է դիտել նաև շատ նեղ՝ 1մմ-ից փոքր տրամագծով խողովակներում, որոնք ընդունված է անվանել ***մազանոթներ*** կամ ***մազական խողովակներ***:

Եթե ջրով լի լայն անոթի մեջ իջեցնենք տարբեր տրամագծերով մազանոթներ, ապա կտեսնենք, որ ջուրը բարձրանում է մազանոթներով, ընդ որում՝ այնքան ավելի վեր, որքան փոքր է խողովակի տրամագիծը (նկ. 198,*ա*):

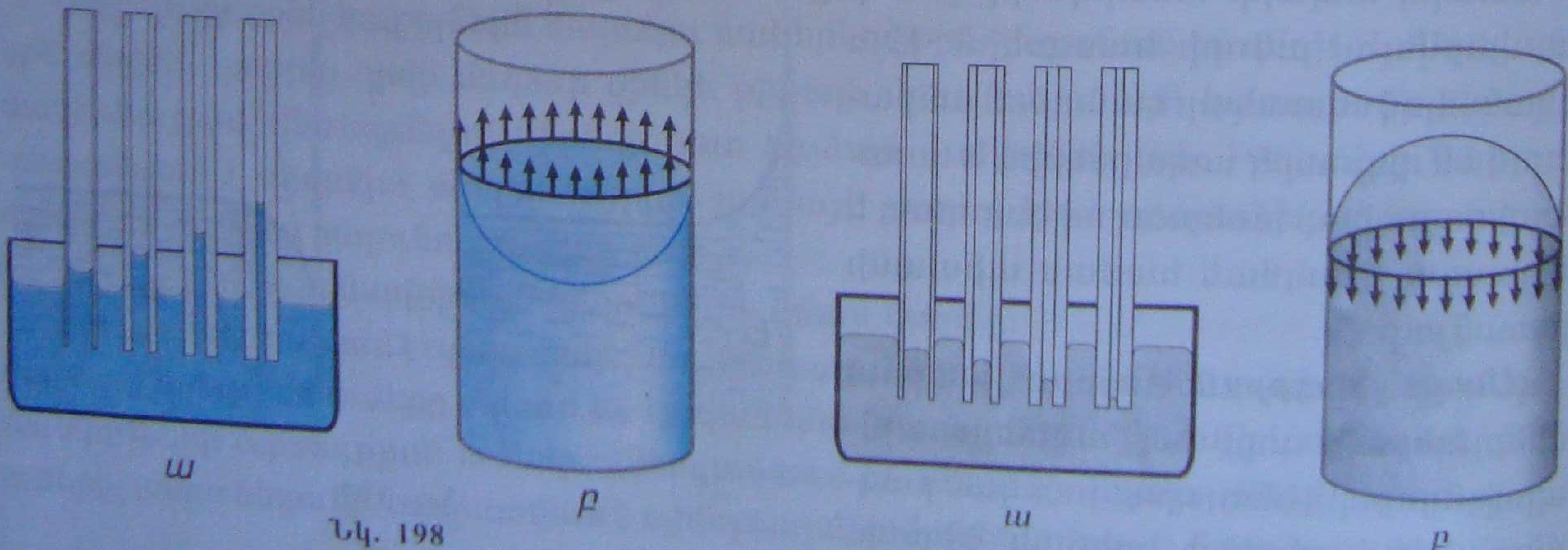
Ջրի բարձրանալն ապակե մազանոթում պայմանավորված է մակերևութային լարվածության ուժերի ազդեցությամբ: Ջուրը թրջում է ապակին, ուստի մազանոթի մեջ՝ պատերի մոտ, ջրի մակերևույթը կորանում է, առաջանում է ***մենիսկ*** (հունարեն «մենիսկոս»՝ լուսնաձև բառից)՝ կոր մակերևույթ, որի մակերեսն ավելի մեծ է, քան մազանոթի հատույթի մակերեսը: Մակերևութային լարվածության ուժերը ձգտում են փոքրացնել մենիսկի կորությունը և դրանով իսկ՝ նրա մակերևույթի մակերեսը, որի հետևանքով ջրի նոր քանակություն է մտնում մազանոթի մեջ: Այս պրոցեսը շարունակվում է այնքան, մինչև որ մակերևութային լարվածության ուժերի ազդեցությունը համակշռվում է մազանոթում հեղուկի սյան հիդրոստատիկ ճնշման ուժով:

Որոշենք մազանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը: Ենթադրենք, որ թրջումը լրիվ է՝ $\theta = 0$: Այս դեպքում մենիսկն իրենից ներկայացնում է կիսոլորտ, որի շառավիղը հավասար է մազանոթի r շառավղին (նկ. 198,*բ*): Մազանոթի վրա նրա պարագծի երկայնքով ազդում են դեպի վեր ուղղված մակերևութային լարվածության ուժերը, որոնց համազորը՝ $F = \sigma l = \sigma 2\pi r$: Նյուտոնի երրորդ օրենքի համաձայն՝ մազանոթը մոդուլով հավասար և հակառակ ուղղված ուժով ազդում է հեղուկի վրա: Հավասարակշռության վիճակում այդ ուժը համակշռվում է h բարձրությամբ հեղուկի սյան վրա ազդող ծանրության ուժով, այսինքն՝

$$2\pi r \sigma = mg = \rho V g , \qquad (17.4)$$

որտեղ ρ-ն հեղուկի խտությունն է, $V = \pi r^2 \cdot h$ -ը՝ հեղուկի սյան ծավալը: (17.4) հավասարումից մազանոթում հեղուկի սյան բարձրության համար կստանանք՝

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} , \qquad (17.5)$$



Նկ. 198

Նկ. 199

որի համաձայն մազանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը (լայն անոթում հեղուկի մակարդակի նկատմամբ) ուղիղ համեմատական է σ մակերևութային լարվածությանը և հակադարձ համեմատական՝ հեղուկի ρ խտությանը և մազանոթի r շառավղին:

Եթե ապակե մազանոթներն իջեցնենք սնդիկով լցված լայն անոթի մեջ, ապա կտեսնենք, որ մազանոթներում սնդիկի մակարդակները գտնվում են լայն անոթում սնդիկի մակարդակից ներքև, ընդ որում, որքան փոքր է մազանոթի շառավիղը, այնքան ցածր է նրանում սնդիկի մակարդակը (նկ. 199, ա): (17.5) բանաձևը կիրառելի է նաև այս դեպքում, ընդ որում, h-ը սնդիկի մակարդակների տարբերությունն է լայն անոթում և մազանոթում: Չթրջող հեղուկի դեպքում մենիսկն ունի ուռուցիկ ձև (նկ. 199, բ):

(17.5) բանաձևից կարելի է ստանալ մի կարևոր ֆիզիկական արդյունք: Այն արտագրենք հետևյալ ձևով՝

$$\rho g h = \frac{2\sigma}{r}\,; \qquad (17.6)$$

(17.6) առնչության ձախ մասում գրված մեծությունը h բարձրությամբ հեղուկի սյան հիդրոստատիկ ճնշումն է: Հետևաբար՝ աջ մասում գրվածը նույնպես իրենից ճնշում է ներկայացնում, որը պայմանավորված է հեղուկի մակերևութային շերտի առկայությամբ ($\sigma \neq 0$) և մակերևույթի կորությամբ (մենիսկով): Այսպիսով՝ գոգավոր մակերևութային շերտում գործող մոլեկուլային ուժերի շնորհիվ ստեղծված ճնշումը փոքր է հեղուկի հորիզոնական մակերևույթի վրա ճնշումից $2\sigma/r$ չափով, ինչի հետևանքով էլ հեղուկը բարձրանում է մազանոթով: Ընդհակառակը, չթրջող հեղուկի դեպքում ուռուցիկ մակերևույթի ստեղծած ճնշումը մեծ է հեղուկի մակերևույթի վրա ճնշումից $2\sigma/r$ չափով, ուստի հեղուկի մակարդակը մազանոթում իջնում է: Հեղուկի մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված ճնշումը տրվում է

$$\boxed{p = \frac{2\sigma}{R}} \qquad (17.7)$$

բանաձևով (Պ.Լապլաս), որտեղ R-ը մակերևույթի կորության շառավիղն է (նկ. 200): Լրիվ թրջող կամ լրիվ չթրջող հեղուկի դեպքում կորության R շառավիղը համընկնում է մազանոթի r շառավղին:

Մազականության երևույթը կարող է դիտվել ոչ միայն մազանոթներում, այլև իրար շատ մոտ դրված մակերևույթների միջև:

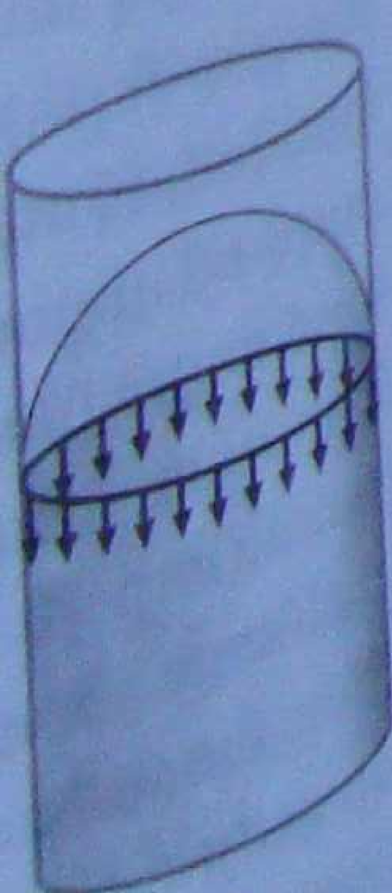
Մազական երևույթները չափազանց տարածված են բնության մեջ, լայնորեն կիրառվում են տեխնիկայում, կենցաղում և կարևոր դեր են խաղում ամենատարբեր պրոցեսներում:

Այսպես, բույսերի արմատներում, ցողուններում և տերևներում առկա մազանոթային համակարգի միջոցով ջուրը և սննդանյութերի ջրային լուծույթները թափանցում և տարածվում են բույսերում:

Ջուրը գետնի վերին շերտերն է բարձրանում մազականության շնորհիվ: Գետնի վերին շերտերից ջրի գոլորշացումը փոքրացնելու և խոնավությունը հողում պահելու նպատակով հողը փխրում կամ ցաքանում են՝ քանդելով մազանոթների համակարգը, ինչն ունի կարևոր նշանակություն գյուղատնտեսության մեջ:

2r
R

Նկ. 200



որի համաձայն մազանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը (լայն անոթում հեղուկի մակարդակի նկատմամբ) ուղիղ համեմատական է σ մակերևութային լարվածությանը և հակադարձ համեմատական՝ հեղուկի ρ խտությանը և մազանոթի r շառավղին:

Եթե ապակե մազանոթներն իջեցնենք սնդիկով լցված լայն անոթի մեջ, ապա կտեսնենք, որ մազանոթներում սնդիկի մակարդակները գտնվում են լայն անոթում սնդիկի մակարդակից ներքև, ընդ որում, որքան փոքր է մազանոթի շառավիղը, այնքան ցածր է նրանում սնդիկի մակարդակը (նկ. 199, *ա*): (17.5) բանաձևը կիրառելի է նաև այս դեպքում, ընդ որում, h-ը սնդիկի մակարդակների տարբերությունն է լայն անոթում և մազանոթում: Չթրջող հեղուկի դեպքում մենիսկն ունի ուռուցիկ ձև (նկ. 199, *բ*):

(17.5) բանաձևից կարելի է ստանալ մի կարևոր ֆիզիկական արդյունք: Այն արտագրենք հետևյալ ձևով՝

$$\rho g h = \frac{2\sigma}{r}: \qquad (17.6)$$

(17.6) առնչության ձախ մասում գրված մեծությունը h բարձրությամբ հեղուկի սյան հիդրոստատիկ ճնշումն է: Հետևաբար՝ աջ մասում գրվածը նույնպես իրենից ճնշում է ներկայացնում, որը պայմանավորված է հեղուկի մակերևութային շերտի առկայությամբ ($\sigma \neq 0$) և մակերևույթի կորությամբ (մենիսկով): Այսպիսով՝ գոգավոր մակերևութային շերտում գործող մոլեկուլային ուժերի շնորհիվ ստեղծված ճնշումը փոքր է հեղուկի հորիզոնական մակերևույթի վրա ճնշումից $2\sigma/r$ չափով, ինչի հետևանքով էլ հեղուկը բարձրանում է մազանոթով: Ընդհակառակը, չթրջող հեղուկի դեպքում ուռուցիկ մակերևույթի ստեղծած ճնշումը մեծ է հեղուկի մակերևույթի վրա ճնշումից $2\sigma/r$ չափով, ուստի հեղուկի մակարդակը մազանոթում իջնում է: Հեղուկի մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված ճնշումը տրվում է

$$p = \frac{2\sigma}{R} \qquad (17.7)$$

բանաձևով (Պ.Լապլաս), որտեղ R-ը մակերևույթի կորության շառավիղն է (նկ. 200): Լրիվ թրջող կամ լրիվ չթրջող հեղուկի դեպքում կորության R շառավիղը համընկնում է մազանոթի r շառավղին:

Մազականության երևույթը կարող է դիտվել ոչ միայն մազանոթներում, այլև իրար շատ մոտ դրված մակերևույթների միջև:

Մազական երևույթները չափազանց տարածված են բնության մեջ, լայնորեն կիրառվում են տեխնիկայում, կենցաղում և կարևոր դեր են խաղում ամենատարբեր պրոցեսներում:

Այսպես, բույսերի արմատներում, ցողուններում և տերևներում առկա մազանոթային համակարգի միջոցով ջուրը և սննդանյութերի ջրային լուծույթները բարձրանում և տարածվում են բույսերում:

Ջուրը գետնի վերին շերտերն է բարձրանում մազականության շնորհիվ: Գետնի վերին շերտերից ջրի գոլորշացումը փոքրացնելու և խոնավությունը հողում պահելու նպատակով հողը փխրում կամ ցաքանում են՝ քանդելով մազանոթների համակարգը, ինչն ունի կարևոր նշանակություն գյուղատնտեսության մեջ:



Նկ. 200

Շինարարության մեջ օգտագործվող շինանյութերում (քար, աղյուս, բետոն, փայտ և այլն) կան բազմաթիվ մազանոթներ, որոնցով ջուրը շինության հիմքից բարձրանում է վեր՝ խոնավացնելով կառույցը: Ուստի կառույցները խոնավությունից պաշտպանելու նպատակով կիրառում են ջրամեկուսացում՝ նրանց հիմքերը պատելով տաք բիտումով, ջրամերժ ցեմենտով և այլ ջրամեկուսիչ նյութերով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞րն է թրջման երևույթը:*
2. *Ինչու՞ է հեղուկի մակերևույթը կորանում անոթի պատերի մոտ:*
3. *Ինչու՞ բանաքով հնարավոր չէ գրել յուղոտ թղթի վրա:*
4. *Ինչու՞ հնարավոր չէ ալյումինը զոդել անագի զոդանյութով:*
5. *Բացատրե՛ք հանքահարստացման երևույթը:*
6. *Ո՞րն է մազականության էությունը:*
7. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում մազանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը:*
8. *Որակապես բացատրե՛ք մազանոթում հեղուկի սյան բարձրության կախումը հեղուկի խտությունից, մակերևութային լարվածությունից և մազանոթի շառավղից:*
9. *Ի՞նչ բանաձևով է տրվում հեղուկի մակերևույթի կորությամբ պայմանավորված ճնշումը:*
10. *Ինչու՞ կաթոցիկի ստորին անցքը պետք է նեղ լինի:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***1 մմ շառավղով ապակե մազանոթը լցրեցին ջրով և դրեցին ուղղաձիգ դիրքով: Որոշել մազանոթում մնացած ջրի սյան բարձրությունը:***

Լուծում: ***Առաջին եղանակ:*** Մազանոթում մնացած ջրի սյունը պահվում է նրա վերին և ստորին մենիսկներով, որոնցից յուրաքանչյուրը սյան վրա ազդում է $F = 2\pi r\sigma$ ուժով: Ջրի սյան հավասարակշռության $mg = \rho\pi r^2hg = 2F = 4\pi r\sigma$ պայմանից կստանանք՝

$$h = \frac{4\sigma}{\rho r g}:$$

Տեղադրելով $\rho = 10^3$կգ/մ^3, $r = 10^{-3}$մ և $\sigma = 7{,}4\cdot10^{-2}$ Ն/մ՝ կստանանք՝ $h \approx 3\cdot10^{-2}$ մ:

Երկրորդ եղանակ: Մազանոթում մնացած ջրի սյան հիդրոստատիկ ճնշումը՝ ρgh-ը, հավասար է ստորին և վերին մենիսկների ստեղծած ճնշումների տարբերությանը՝ $p_{ստ} - p_{վ} = \rho gh$: Քանի որ $p_{ստ} = p_0 + 2\sigma/r$, իսկ $p_{վ} = p_0 - 2\sigma/r$, որտեղ p_0-ն մթնոլորտային ճնշումն է, ապա $p_{ստ} - p_{վ} = \rho gh$ բանաձևից կստանանք՝

$$\left(p_0 + \frac{2\sigma}{r}\right) - \left(p_0 - \frac{2\sigma}{r}\right) = \rho gh \quad \text{կամ} \quad h = \frac{4\sigma}{\rho r g}:$$

2. ***Սնդիկի $5\cdot10^{-4}$ մ շառավղով կաթիլը, երկու զուգահեռ թիթեղների միջև սեղմվելով, վերածվում է $d = 5\cdot10^{-5}$ մ հաստությամբ «բլիթի»: Ի՞նչ աշխատանք է կատարվել այդ սեղմման ընթացքում: Սնդիկի մակերևութային լարվածությունը 0,47 Ն/մ է:***

Լուծում: Սեղմման աշխատանքը կարող ենք հաշվել $A = \sigma(S_2 - S_1)$ բանաձևով, որտեղ S_1-ը և S_2-ը կաթիլի սկզբնական և վերջնական մակերևույթների մակերեսներն են՝ $S_1 = 4\pi r^2$,

$S_2 \approx 2\pi R^2$, R-ը «բլիթի» շառավիղն է («բլիթի» կողմնային մակերևույթի մակերեսը շատ փոքր է նրա հիմքի մակերեսից, ուստի $S_{բլիթ} \approx S_2$):

Սեղմման ընթացքում կաթիլի ծավալը մնում է անփոփոխ, հետևաբար՝

$$\pi R^2 d = \frac{4\pi}{3} r^3, \text{ ուստի } R^2 = \frac{4r^3}{3d}:$$

S_1-ի և S_2-ի արտահայտությունները տեղադրելով աշխատանքի բանաձևի մեջ՝ կստանանք՝

$$A = 4\pi\sigma r^2 \left(\frac{2r}{3d} - 1\right) = 8{,}4 \cdot 10^{-6} Ջ:$$

3. ***Ջրի մակերևութային լարվածությունը որոշելու համար օգտագործվել է կաթոցիկ, որի ելքի անցքի տրամագիծը 2 մմ է: 40 կաթիլի զանգվածը հավասար է 1,9 գ-ի: Այս տվյալներով որոշել ջրի մակերևութային լարվածության արժեքը:***

Լուծում: Որոշենք ջրի մեկ կաթիլի զանգվածը՝ հաշվի առնելով, որ պոկվելու պահին կաթիլի վրա ազդող ծանրության ուժը հավասարակշռվում է կաթոցիկի ելքի անցքի պարագծով ազդող և դեպի վեր ուղղված մակերևութային լարվածության ուժով՝ $m_1 g = \sigma \cdot \pi d$: Մյուս կողմից՝ $m_1 = m/N$, որտեղ m-ը ջրի N կաթիլի զանգվածն է, հետևաբար՝

$$\sigma = \frac{m_1 g}{\pi d} = \frac{mg}{\pi d N} \approx 0{,}074 \text{ Ն/մ}:$$

Խնդիրներ

1. *Սպիրտի կաթիլներն արտահոսում են ուղղաձիգ դրված խողովակից, որի ներքին տրամագիծը 0,002 մ է, ընդ որում, կաթիլները պոկվում են 1վ պարբերությամբ: Քանի՞ վայրկյանում խողովակից կարտահոսի 40,6 գ սպիրտ:*
2. *Պատրույգում ջուրը բարձրանում է մինչև 15,8 սմ: Որքա՞ն կբարձրանա սպիրտը նույն պատրույգում:*
3. *6 Ն/մ կոշտությամբ զսպանակից կախված անկշիռ օղակը հպվում է հեղուկի մակերևույթին: Օղակի ներքին տրամագիծը 2,6 սմ է, արտաքինը՝ 2,7 սմ: Հեղուկի մակերևույթն իջեցնելիս օղակը նրանից պոկվում է, երբ զսպանակը երկարում է $5{,}3 \cdot 10^{-3}$ մ-ով: Գտնել այդ հեղուկի մակերևութային լարվածությունը:*
4. *Բարոմետրական խողովակի ներքին տրամագիծը 5 մմ է: Ի՞նչ ուղղում պետք է մտցնել՝ այդ խողովակում սնդիկի սյան բարձրությամբ մթնոլորտային ճնշումը որոշելիս: Ընդունել, որ թրջում տեղի չունի:*
5. *Սնդիկով լցված ապակե անոթի հատակին կա մի փոքրիկ անցք: Այդ անցքի տրամագծի ի՞նչ առավելագույն արժեքի դեպքում սնդիկն անցքից չի թափվի, եթե սնդիկի սյան բարձրությունն անոթում 2,5 սմ է:*
6. *Տաք ջրով լի անոթի մեջ իջեցվում է մազանոթ: Կփոփոխվի՞ արդյոք ջրի մակարդակը մազանոթում տաք ջրի հովացման ընթացքում:*
7. *Օճառի երկու պղպջակներ, որոնց շառավիղներն են R_1 և R_2, միանում են իրար՝ կազմելով R_3 շառավղով մեկ պղպջակ: Գտնել օճառի թաղանթի մակերևութային լարվածությունը, եթե մթնոլորտային ճնշումը հավասար է p_0-ի:*

$S_2 \approx 2\pi R^2$, R-ը «բլիթի» շառավիղն է («բլիթի» կողմնային մակերևույթի մակերեսը շատ փոքր է նրա հիմքի մակերեսից, ուստի $S_{բլիթ} \approx S_2$):

Սեղմման ընթացքում կաթիլի ծավալը մնում է անփոփոխ, հետևաբար`

$$\pi R^2 d = \frac{4\pi}{3} r^3, \text{ ուստի } R^2 = \frac{4r^3}{3d}:$$

S_1-ի և S_2-ի արտահայտությունները տեղադրելով աշխատանքի բանաձևի մեջ` կստանանք`

$$A = 4\pi\sigma r^2 \left(\frac{2r}{3d} - 1\right) = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ջ}:$$

3. ***Ջրի մակերևութային լարվածությունը որոշելու համար օգտագործվել է կաթոցիկ, որի ելքի անցքի տրամագիծը 2 մմ է: 40 կաթիլի զանգվածը հավասար է 1,9 գ-ի: Այս տվյալներով որոշել ջրի մակերևութային լարվածության արժեքը:***

Լուծում: Որոշենք ջրի մեկ կաթիլի զանգվածը` հաշվի առնելով, որ պոկվելու պահին կաթիլի վրա ազդող ծանրության ուժը հավասարակշռվում է կաթոցիկի ելքի անցքի պարագծով ազդող և դեպի վեր ուղղված մակերևութային լարվածության ուժով` $m_1 g = \sigma \cdot \pi d$: Մյուս կողմից` $m_1 = m/N$, որտեղ $m$-ը ջրի $N$ կաթիլի զանգվածն է, հետևաբար`

$$\sigma = \frac{m_1 g}{\pi d} = \frac{mg}{\pi d N} \approx 0,074 \text{ Ն/մ}:$$

Խնդիրներ

1. *Սպիրտի կաթիլներն արտահոսում են ուղղաձիգ դրված խողովակից, որի ներքին տրամագիծը 0,002 մ է, ընդ որում, կաթիլները պոկվում են 1վ պարբերությամբ: Քանի՞ վայրկյանում խողովակից կարտահոսի 40,6գ սպիրտ:*
2. *Պատրույգում ջուրը բարձրանում է մինչև 15,8 սմ: Որքա՞ն կբարձրանա սպիրտը նույն պատրույգում:*
3. *6 Ն/մ կոշտությամբ զսպանակից կախված անկշիռ օղակը հպվում է հեղուկի մակերևույթին: Օղակի ներքին տրամագիծը 2,6 սմ է, արտաքինը`2,7 սմ: Հեղուկի մակերևույթն իջեցնելիս օղակը նրանից պոկվում է, երբ զսպանակը երկարում է $5,3 \cdot 10^{-3}$ մ-ով: Գտնել այդ հեղուկի մակերևութային լարվածությունը:*
4. *Բարոմետրական խողովակի ներքին տրամագիծը 5 մմ է: Ի՞նչ ուղղում պետք է մտցնել` այդ խողովակում սնդիկի սյան բարձրությամբ մթնոլորտային ճնշումը որոշելիս: Ընդունել, որ թրջում տեղի չունի:*
5. *Սնդիկով լցված ապակե անոթի հատակին կա մի փոքրիկ անցք: Այդ անցքի տրամագծի ի՞նչ առավելագույն արժեքի դեպքում սնդիկն անցքից չի թափվի, եթե սնդիկի սյան բարձրությունն անոթում 2,5 սմ է:*
6. *Տաք ջրով լի անոթի մեջ իջեցվում է մազանոթ: Կփոփոխվի՞ արդյոք ջրի մակարդակը մազանոթում տաք ջրի հովացման ընթացքում:*
7. *Օճառի երկու պղպջակներ, որոնց շառավիղներն են R_1 և R_2, միանում են իրար` կազմելով R_3 շառավղով մեկ պղպջակ: Գտնել օճառի թաղանթի մակերևութային լարվածությունը, եթե մթնոլորտային ճնշումը հավասար է p_0-ի:*

8. *Որոշել ջրի $r = 2 \cdot 10^{-3}$ մմ շառավղով կաթիլներից $R = 2$մմ շառավղով մեկ կաթիլ առաջանալիս անջատված էներգիան (պրոցեսն իզոթերմ է): Ջրի մակերևութային լարվածությունը՝ $\sigma = 7{,}4 \cdot 10^{-2}$ Ն/մ:*

9. *Ջրում բրջվող խորանարդը լողում է ջրի մակերևույթին: Խորանարդի զանգվածը՝ $m = 2 \cdot 10^{-2}$ կգ, կողի երկարությունը՝ $a = 3 \cdot 10^{-2}$ մ: Ջրի մակերևույթից ի՞նչ խորության վրա է գտնվում խորանարդի ստորին նիստը:*

10. *Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել $D = 12$ սմ տրամագծով օճառի պղպջակ փչելու համար: Օճառի լուծույթի մակերևութային լարվածությունը $4 \cdot 10^{-2}$ Ն/մ է:*

ԳԼՈՒԽ 17-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մակերևութային լարվածության ուժը հեղուկի մոլեկուլների փոխադարձ ձգողության ուժերի դրսևորումներից մեկն է: Այն ազդում է հեղուկի մակերևույթը շոշափող հարթության մեջ՝ մակերևույթի սահմանագծին ուղղահայաց և ձգտում է կրճատել այդ մակերևույթը մինչև տվյալ պայմաններում հնարավոր նվազագույն արժեքը: Մակերևութային լարվածության ուժը՝ $F = \sigma l$, որտեղ l-ը հեղուկի սահմանագծի երկարությունն է, σ-ն՝ հեղուկի մակերևութային լարվածությունը, որը կախված է հեղուկի տեսակից: Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ σ-ն նվազում է:

2. Թրջող հեղուկը մազանոթում մակերևութային լարվածության ուժի շնորհիվ բարձրանում է (իսկ չթրջողը՝ իջնում)

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

չափով (ρ-ն հեղուկի խտությունն է, g-ն՝ ազատ անկման արագացումը, r-ը՝ մազանոթի շառավիղը):

3. Գոգավոր մակերևույթի վրա ճնշումը փոքր է հեղուկի հորիզոնական մակերևույթի վրա p_0 ճնշումից $p = 2\sigma/R$ լապլասյան ճնշման չափով, իսկ ուռուցիկ մակերևույթի վրա մեծ է p_0-ից նույն չափով. R-ը հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղն է:

8. Որքա՞ն ջրի $r = 2\cdot10^{-3}$ մմ շառավղով կաթիլներից $R = 2$մմ շառավղով մեկ կաթիլ առաջանալիս անջատված էներգիան (պրոցեսն իզոթերմ է): Ջրի մակերևութային լարվածությունը՝ $\sigma = 7{,}4\cdot10^{-2}$ Ն/մ:

9. Ջրով չթրջվող խորանարդը լողում է ջրի մակերևույթին: Խորանարդի զանգվածը՝ $m = 2\cdot10^{-2}$ կգ, կողի երկարությունը՝ $a = 3\cdot10^{-2}$ մ: Ջրի մակերևույթից ի՞նչ խորության վրա է գտնվում խորանարդի ստորին նիստը:

10. Ի՞նչ աշխատանք պետք է կատարել $D = 12$ սմ տրամագծով օճառի պղպջակ փչելու համար: Օճառի լուծույթի մակերևութային լարվածությունը $4\cdot10^{-2}$ Ն/մ է:

ԳԼՈՒԽ 17-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մակերևութային լարվածության ուժը հեղուկի մոլեկուլների փոխազդեցության դրսևորումներից մեկն է: Այն պահում է հեղուկի մակերևույթը շոշափող ուժերի ազդեցության մեջ՝ մակերևույթի սահմանագծին ուղղահայաց և ձգտում է կրճատել այդ մակերևույթը մինչև տվյալ պայմաններում հնարավոր նվազագույն արժեքը: Մակերևութային լարվածության ուժը՝ $F = \sigma l$, որտեղ l-ը հեղուկի սահմանագծի երկարությունն է, σ-ն՝ հեղուկի մակերևութային լարվածությունը, որը կախված է հեղուկի տեսակից: Ջերմաստիճանի բարձրացման հետ σ-ն նվազում է:

2. Թրջող հեղուկը մազանոթում մակերևութային լարվածության ուժի շնորհիվ բարձրանում է (իսկ չթրջողը՝ իջնում)

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

չափով (ρ-ն հեղուկի խտությունն է, g-ն՝ ազատ անկման արագացումը, r-ը՝ մազանոթի շառավիղը):

3. Գոգավոր մակերևույթի վրա ճնշումը փոքր է հեղուկի հորիզոնական մակերևույթի վրա p_0 ճնշումից $p = 2\sigma/R$ լապլասյան ճնշման չափով, իսկ ուռուցիկ մակերևույթի վրա մեծ է p_0-ից նույն չափով. R-ը հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղն է:

18 ՊԻՆԴ ՄԱՐՄԻՆՆԵՐ



§ 85. Բյուրեղային մարմիններ

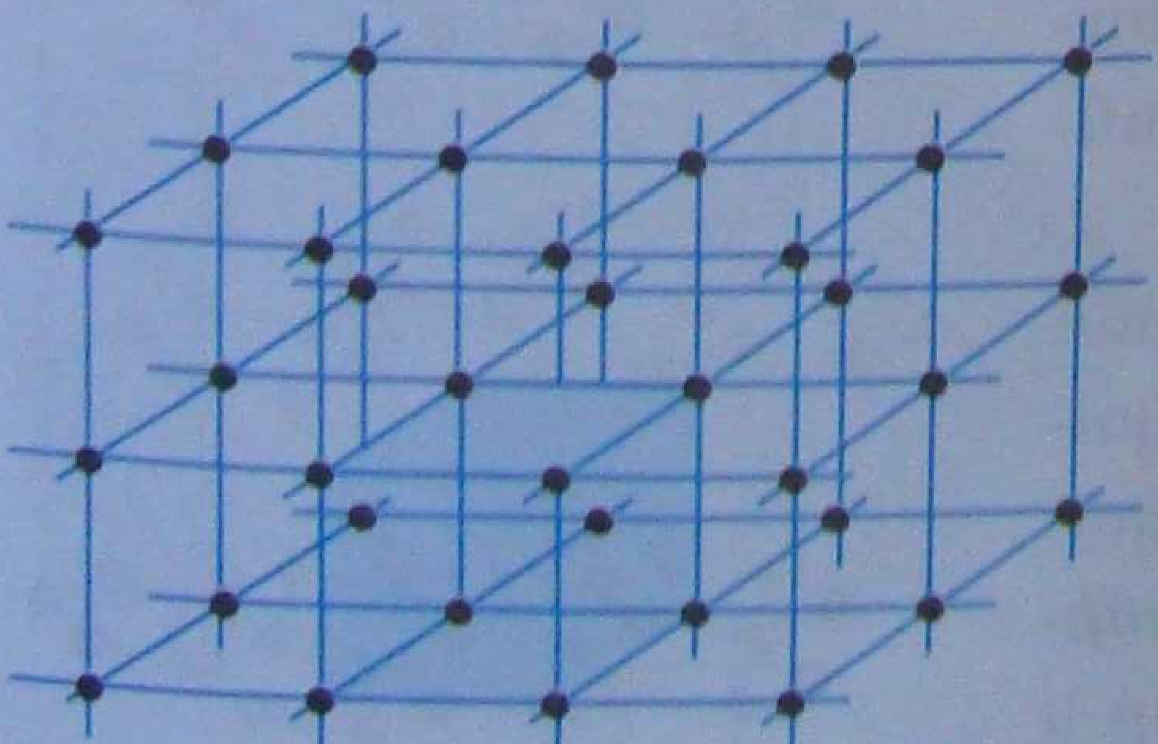
Պինդ վիճակը Երկրի վրա նյութի ամենատարածված ագրեգատային վիճակն է: ***Պինդ կոչվում են այն մարմինները, որոնք պահպանում են ոչ միայն իրենց ծավալը, այլ՝ ձևը:*** Պինդ մարմիններում, ինչպես և հեղուկներում, ծգման կամ սեղմման պրոցեսում ծավալի փոքր փոփոխությունները ուղեկցվում են նրանցում զգալի առաձգական ուժերի առաջացմամբ: Սակայն պինդ մարմնում զգալի առաձգական ուժեր ծագում են նաև նրա ***ձևի*** փոքր փոփոխությունների դեպքում, երբ մարմնի ծավալը չի փոփոխվում:

Ինչպես գիտենք, պինդ մարմինները ըստ իրենց ներքին կառուցվածքի լինում են ***բյուրեղային*** և ***ամորֆ*** :

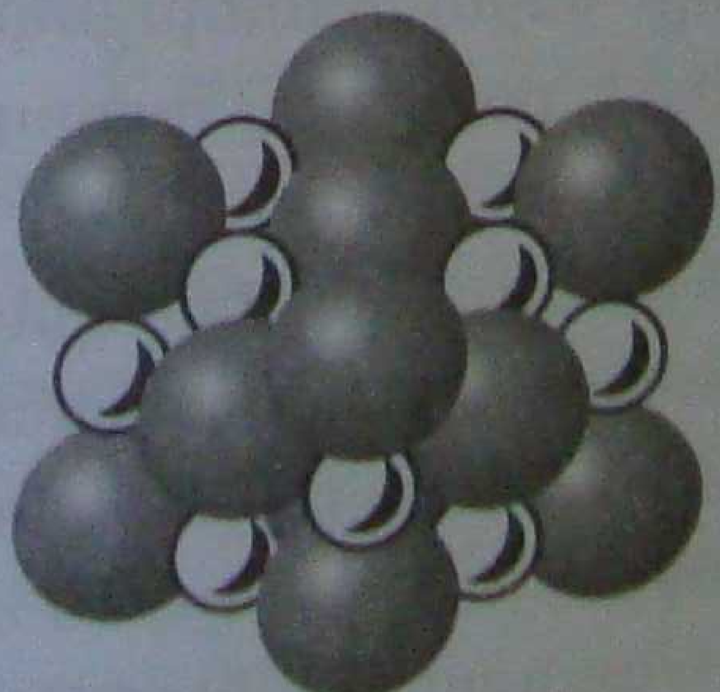
Բյուրեղային մարմինները կամ ***բյուրեղները ունեն կանոնավոր ներքին կառուցվածք,*** այսինքն՝ նրանցում մասնիկները (ատոմներ, իոններ կամ մոլեկուլներ) կատարում են փոքր լայնույթով ջերմային տատանումներ որոշակի կետերի՝ ***բյուրեղային ցանցի հանգույցների*** շուրջ, որոնք տարածության մեջ բաշխված են պարբերաբար, խիստ համաչափ ձևով: Բյուրեղային ցանցը ոչինչ չի ասում մասնիկների չափերի, նրանց հեռավորությունների մասին: Այն պատկերում է մասնիկների կենտրոնների փոխադարձ դիրքերը տարածության մեջ: Նկ. 201-ում պատկերված է բյուրեղային ցանցի մի հատված:

Իրականում մասնիկները բյուրեղներում «դարսված» են բավականաչափ խիտ՝ նրանք հպվում են իրար, անգամ՝ փոխներթափանցում (նկ. 202):

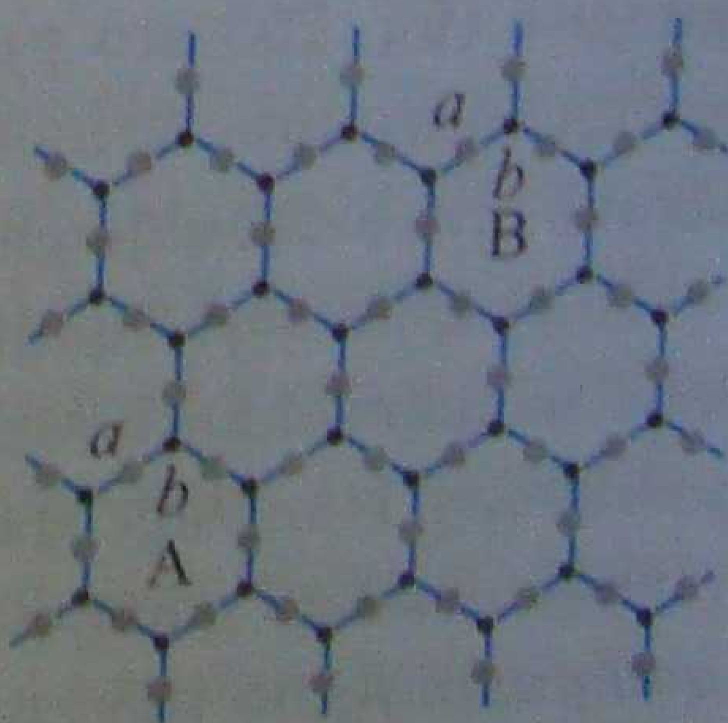
Բյուրեղի ներքին կանոնավոր կառուցվածքը կարելի է պատկերացնել նաև որպես տվյալ տեսակի մասնիկի շրջապատի անփոփոխություն՝ անկախ բյուրեղային ցանցում նրա զբաղեցրած դիրքից: Նկ. 203-ում պատկերված է քվարցի (SiO_2) բյուրեղում մասնիկների դասավորության հարթ պատկերը: Անկախ բյուրեղում ընտրված տիրույթից՝ A, թե B, յուրաքանչյուր a մասնիկ ունի 2 b հարևան, իսկ յուրաքանչյուր b մասնիկ՝ 3 a հարևան: Ընդունված է ասել, որ բյուրեղներում առկա է ***հեռակա կարգ***:



Նկ. 201



Նկ. 202



Նկ. 203

Լաուե Մաքս (1879 - 1960)



Գերմանացի նշանավոր ֆիզիկոս. հիմնական աշխատանքները վերաբերում են օպտիկային, հարաբերականության տեսությանը, պինդ մարմնի ֆիզիկային: Մշակել է բյուրեղներում ռենտգենյան ճառագայթների ինտերֆերենցի տեսությունը, որով դրվել են նյութի հետազոտման ռենտգենակառուցվածքային վերլուծության հզոր մեթոդի հիմքերը: Նոբելյան մրցանակի դափնեկիր (1914 թ.):

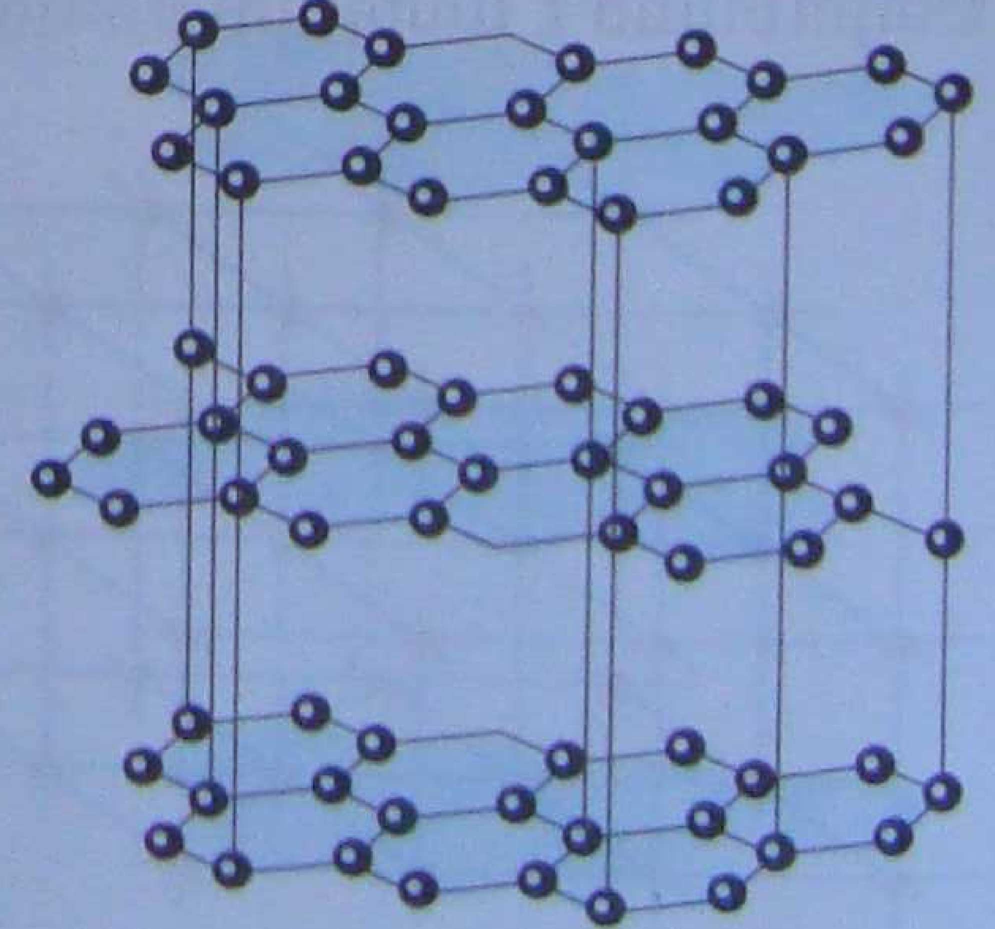
Ցանկացած բյուրեղի արտաքին հատկանիշը նրա կանոնավոր երկրաչափական ձևն է: Դիտելով առանձին բյուրեղներ՝ կարելի է համոզվել, որ դրանք ունեն հարթ, ասես հղկված նիստեր, որոնք կանոնավոր բազմանկյուններ են, ընդ որում, յուրաքանչյուր բյուրեղի կողմերի և նիստերի միջև կազմված անկյունները որոշակի հաստատուն մեծություններ են: Հենց այս փաստն է անուղղակիորեն հուշել գիտնականներին դեռևս XVIII դարում առաջ քաշելու բյուրեղների ներքին կանոնավոր կառուցվածքի մասին վարկածը, որը հաստատվեց Մ.Լաուեի կողմից 1912 թ. ռենտգենյան ճառագայթների օգնությամբ կատարված փորձերում: Ներքին կառուցվածքային համաչափության առավել ցայտուն դրսևորումը բյուրեղի ֆիզիկական հատկությունների կախումն է բյուրեղում ընտրված ուղղությունից:

Առավել ցայտունորեն է դրսևորվում բյուրեղի մեխանիկական հատկությունների կախումն ուղղությունից: Բյուրեղները համեմատաբար հեշտությամբ ճեղքվում են որոշակի ուղղություններով: Օրինակ՝ փայլարի բյուրեղը կարելի է մի ուղղությամբ բաժանել առանձին, բավականաչափ բարակ թիթեղների, սակայն այն ճեղքել, ծգելով թիթեղները, չափազանց դժվար է:

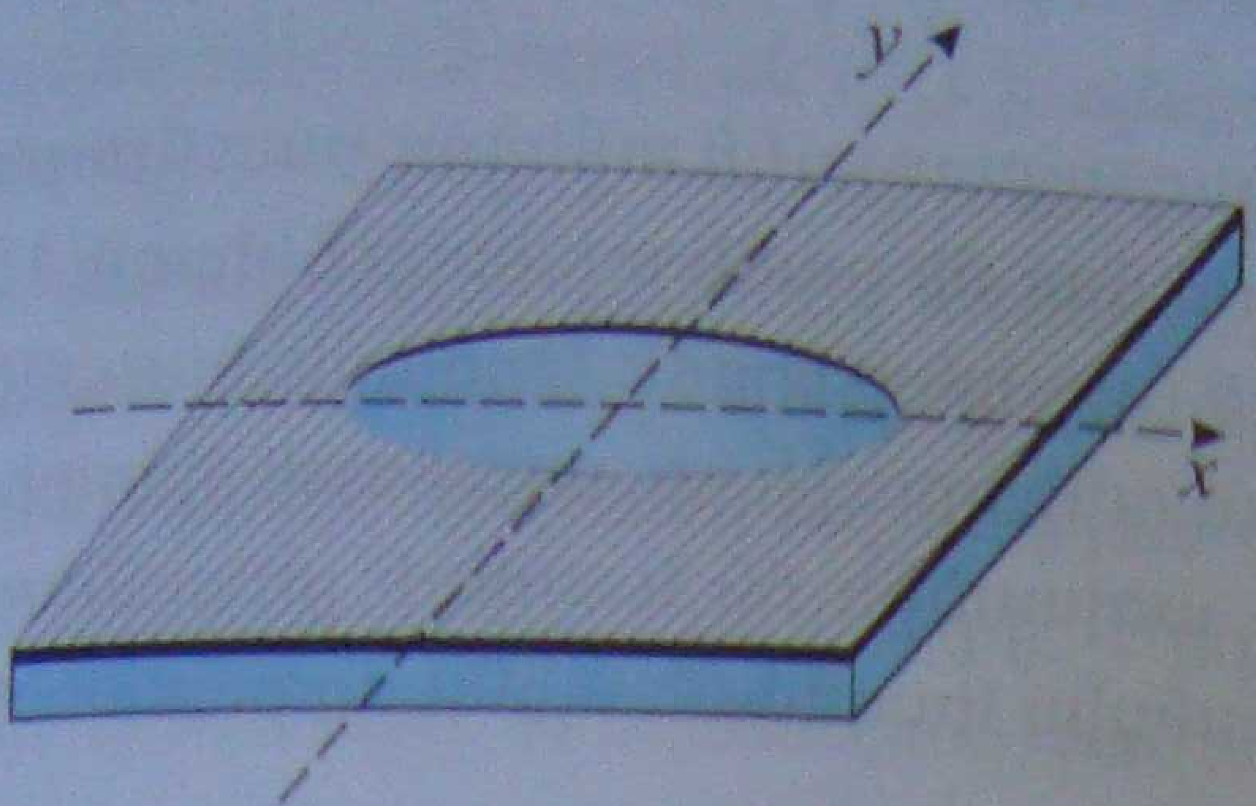
Շերտավոր կառուցվածք ունի գրաֆիտի բյուրեղը (նկ. 204): Այն բաղկացած է ածխածնի ատոմների վեցանկյուններ պարունակող զուգահեռ շերտերից: Շերտերի հեռավորությունը մոտ երկու անգամ մեծ է շերտում ածխածնի ատոմների հեռավորությունից, ուստի շերտերը հեշտությամբ սահում են իրար վրայով, քանի որ հարևան շերտերի ատոմների փոխադարձ ձգողության ուժերը շատ ավելի թույլ են, քան միևնույն շերտում հարևան ատոմների փոխադարձ ձգողության ուժերը:

Բյուրեղի ջերմային հատկությունների, օրինակ՝ ջերմահաղորդականության կախումն ուղղությունից կարելի է ցուցադրել հետևյալ պարզ փորձով: Եթե գիպսի ($CaSO_4$) բյուրեղից կտրած թիթեղը պատենք պարաֆինի բարակ շերտով և շիկացած ցռիկը դնենք թիթեղին, ապա կտեսնենք, որ հալված պարաֆինի սահմանն ունի մեկ ուղղությամբ ձգված տեսք (նկ. 205): Դա նշանակում է, որ գիպսի բյուրեղը ջերմաքանակը տարբեր ուղղություններով ոչ միատեսակ է հաղորդում (նկ. 205-ում բյուրեղի ջերմահաղորդականությունը x ուղղությամբ ավելի մեծ է, քան ուրիշ ուղղություններով. այն ամենափոքրն է y ուղղությամբ):

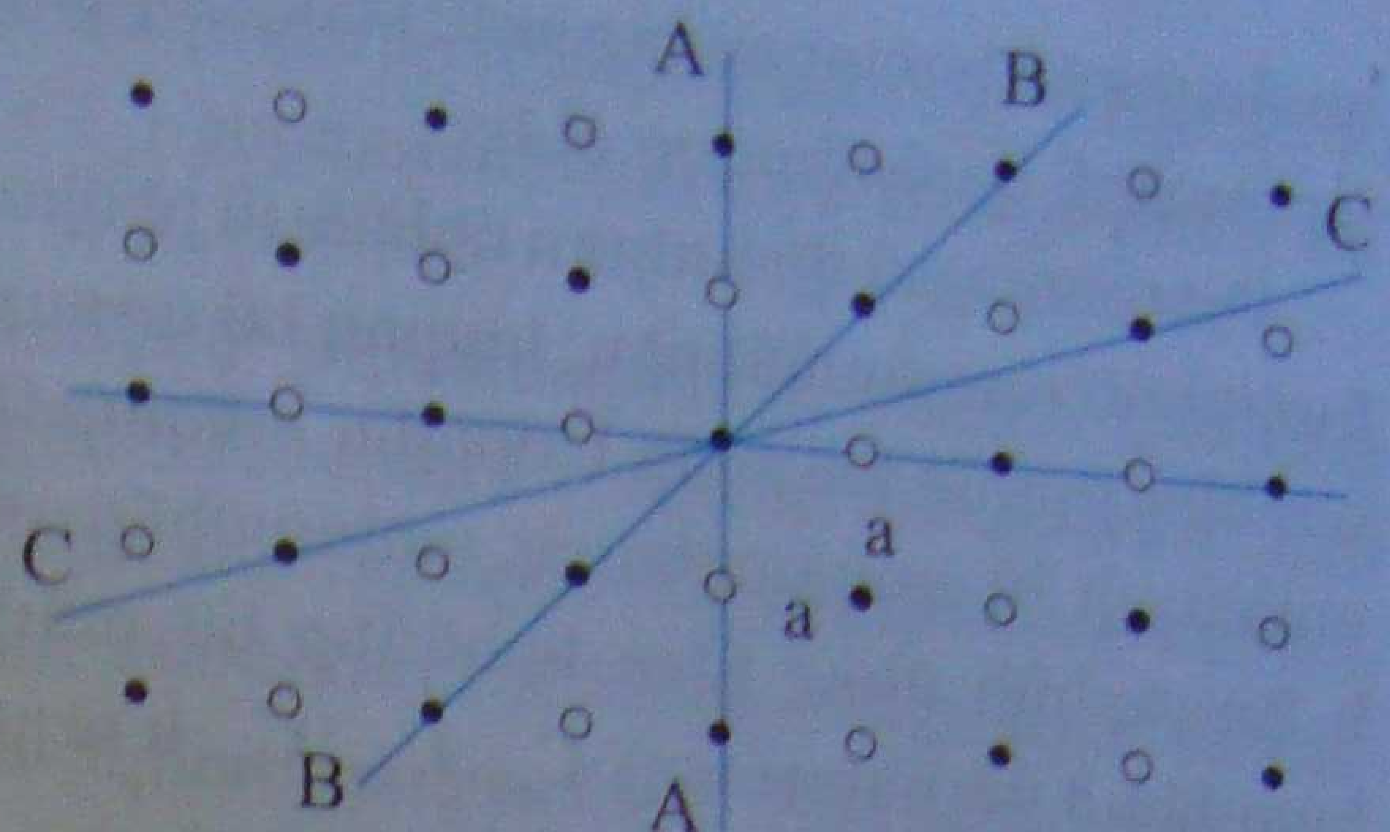
Ուղղությունից են կախված նաև բյուրեղների էլեկտրական, մագնիսական և, հատկապես, օպտիկական հատկությունները: Բյուրեղի ֆիզիկական հատկությունների կախումը նրանում ընտրված ուղղությունից կոչվում է ***անիզոտրոպություն*** (հունարեն «անիզոս»՝ անհավասար և «տրոպոս»՝ ուղղություն բառերից):



Նկ. 204



Նկ. 205

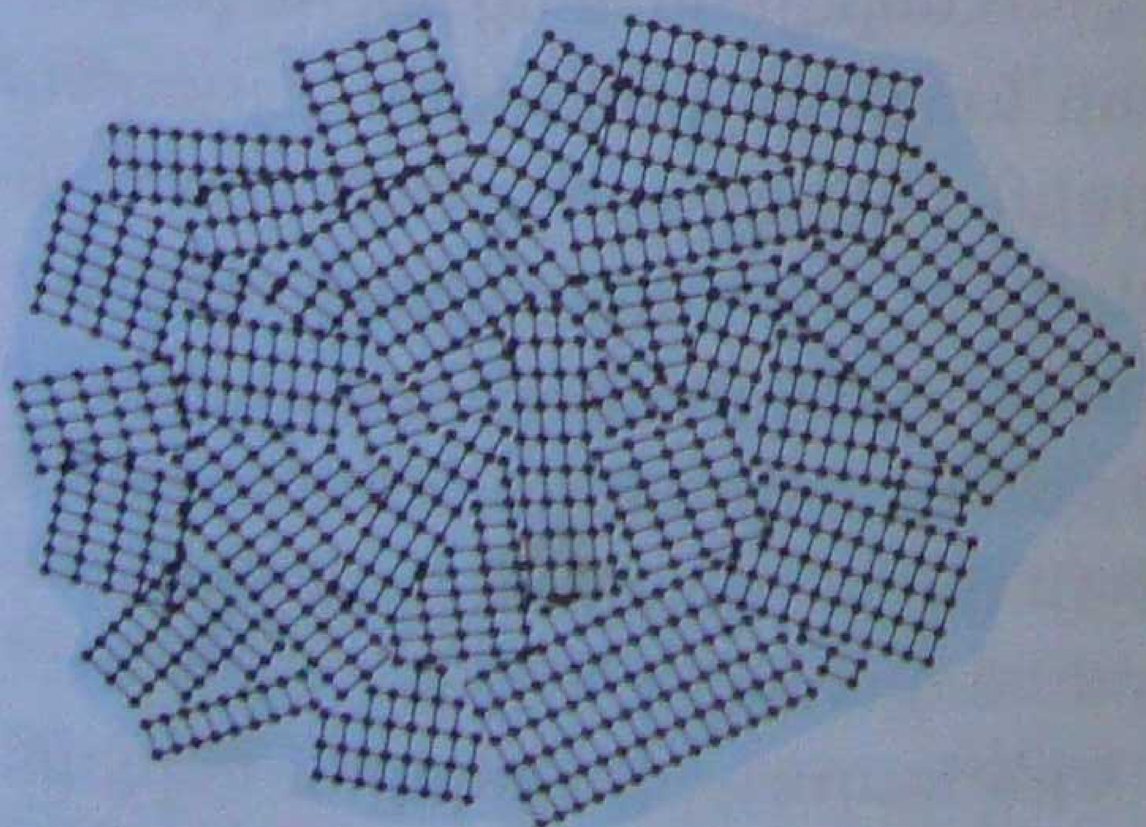


Նկ. 206

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից բյուրեղների անիզոտրոպությունը պայմանավորված է տարբեր ուղղությունների վրա մասնիկների հեռավորությունների, հետևաբար և` փոխազդեցությունների տարբերություններով: Օրինակ` նկ. 206-ում պատկերված հարթ բյուրեղում մասնիկների հեռավորությունն ամենափոքրն է AA ուղղությամբ. այն ընդունված է անվանել ***բյուրեղային ցանցի հաստատուն***: BB ուղղությամբ միջմասնիկային հեռավորությունը $a\sqrt{2}$ է, իսկ CC ուղղությամբ` $a\sqrt{10}$:

Եթե խորանարդի տեսք ունեցող NaCl-ի բյուրեղը կոտրենք` բաժանելով մանր մասերի, ապա, մանրադիտակի տակ ուսումնասիրելով ստացված բեկորները, կնկատենք, որ դրանք բոլորը, անկախ չափից, ունեն մեկ կամ իրար կպած մի քանի խորանարդի տեսք: Եթե մտովի շարունակենք բյուրեղի բաժանման պրոցեսը, ապա կհանգենք բյուրեղի ***տարրական բջջի գաղափարին***: Տարրական բջիջը բաղկացած է մասնիկների նվազագույն թվից: Նկ. 201-ում խորանարդային ցանցի տարրական բջիջը ներկված է:

Ցանկացած բյուրեղ կազմված է հսկայական թվով տարրական բջիջներից: Ընդ որում, եթե բյուրեղի կազմավորմանը ոչինչ չի խանգարում, ապա նրա ձևը ճշտորեն կրկնում է տարրական բջջի ձևը: Այդպիսի բյուրեղը կոչվում է ***միաբյուրեղ*** (նկ. 203, 204): Միաբյուրեղներ, որոնք ունեն բավական մեծ չափեր, հանդիպում են բնության մեջ, ինչպես նաև արհեստականորեն աճեցվում են լաբորատորիաներում: Սակայն ավելի հաճախ մենք գործ ենք ունենում ***բազմաբյուրեղների***, այսինքն` այնպիսի բյուրեղային մարմինների հետ, որոնք բաղկացած են միաբյուրեղի փոքր կտորներից` բյուրեղիկներից, որոնք միմյանց նկատմամբ պատահական դիրքեր ունեն և սերտաճած են (նկ. 207): Որպես կանոն, բոլոր մետաղները բազմաբյուրեղներ են: Բազմաբյուրեղ կազմող բյուրեղիկները կարելի է դիտել մանրադիտակի օգնությամբ, իսկ թարմ կոտրվածքների վրա` երբեմն նաև անզեն աչքով:



Նկ. 207

Ի տարբերություն միաբյուրեղների, որոնք անիզոտրոպ են, բազմաբյուրեղների ֆիզիկական հատկությունները կախված չեն ուղղությունից. ***բազմաբյուրեղներն իզոտրոպ են***: Բազմաբյուրեղներում անիզոտրոպությունն առկա է յուրաքանչյուր բյուրեղիկում, սակայն վերջիններիս` իրար նկատմամբ պատահական կողմնորոշման հետևանքով մարմինը, որպես ամբողջություն,

դրսևորում է իզոտրոպություն: Բազմաբյուրեղները չունեն նաև միաբյուրեղներին բնորոշ արտաքին կանոնավոր ձևեր:

Բյուրեղային վիճակում միևնույն քիմիական բաղադրությունն ունեցող շատ նյութեր, կախված պայմաններից, կարող են գոյություն ունենալ մի քանի տարբեր ձևերով: Այս հատկությունը հայտնի է որպես *բազմաձևություն* (պոլիմորֆիզմ): Օրինակ՝ հայտնի է սառույցի 10 տարատեսակ, ածխածինը գոյություն ունի գրաֆիտի, ալմաստի, կարբինի և ֆուլերենի ձևով (ֆուլերեններ են անվանում ածխածնի 60 և ավելի ատոմներից կազմված մոլեկուլները՝ C_{60}, C_{72}, C_{82} և այլն, և դրանցից կազմված պինդ մարմինները):

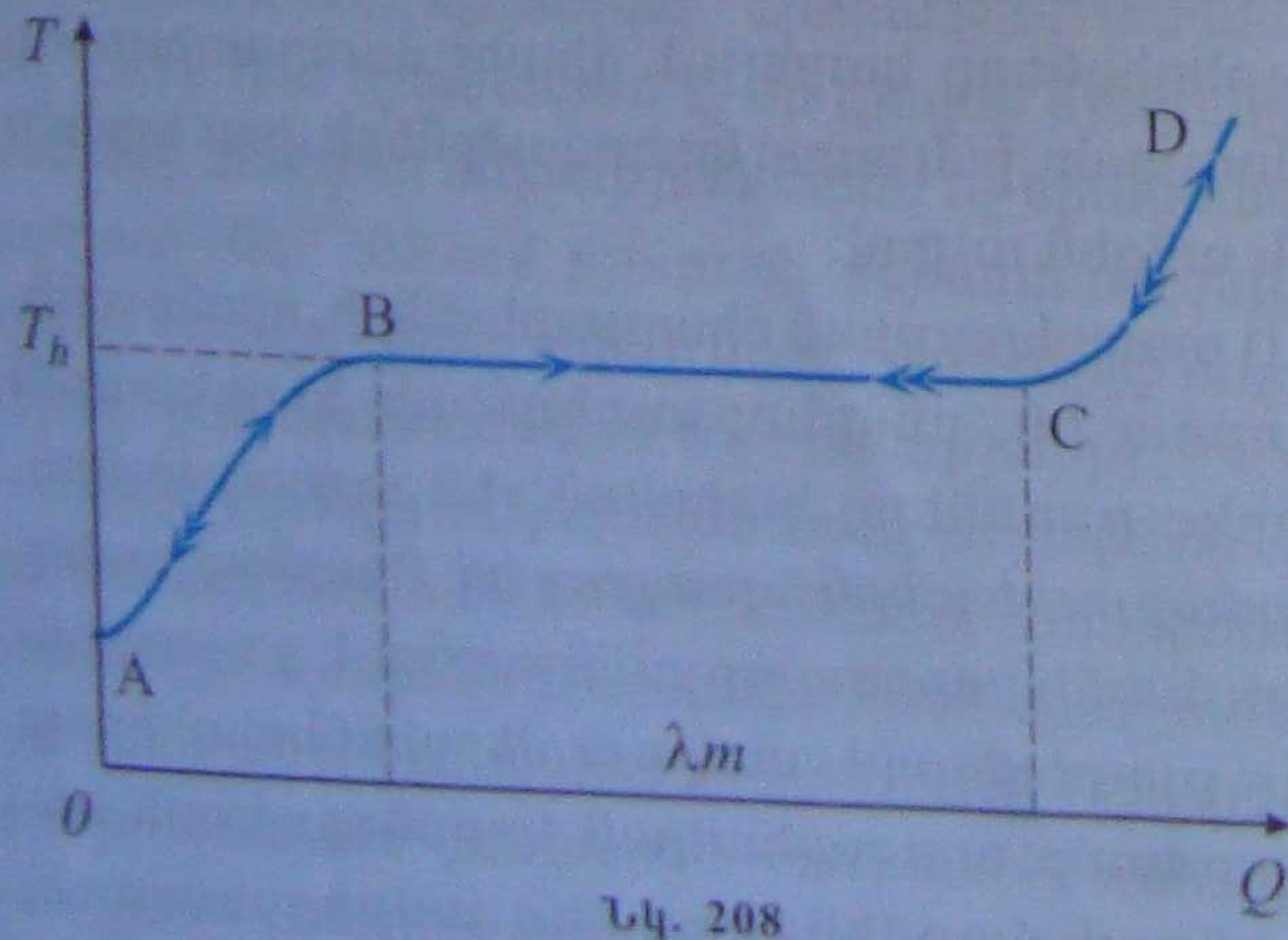
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչո՞վ է բնութագրվում բյուրեղային վիճակը:*
2. *Ի՞նչ է անիզոտրոպությունը:*
3. *Ինչո՞վ է տարբերվում միաբյուրեղը բազմաբյուրեղից:*
4. *Ի՞նչ է հեռակա կարգը:*
5. *Ինչպիսի՞ն են բազմաբյուրեղ մետաղները՝ իզոտրո՞պ, թե՞ անիզոտրոպ:*
6. *Տվե՛ք բյուրեղի անիզոտրոպության մոլեկուլային-կինետիկ մեկնաբանությունը:*

§ 86. Բյուրեղային մարմինների հալումը

Բյուրեղային մարմնի ամենահիմնական հատկությունը, անկախ նմուշի միաբյուրեղ կամ բազմաբյուրեղ լինելու հանգամանքից, տվյալ պայմաններում խիստ որոշակի հալման ջերմաստիճան ունենալն է:

Ինչպես գիտենք, բյուրեղին ջերմաքանակ հաղորդելիս նրա ջերմաստիճանը բարձրանում է և, հասնելով որոշակի արժեքի, այնուհետև մնում է անփոփոխ: Այդ ջերմաստիճանում բյուրեղը սկսում է հալվել՝ պինդ վիճակից անցնել հեղուկ վիճակի: Բյուրեղային մարմնի ջերմաստիճանի՝ տրված ջերմաքանակից (կամ ջերմահաղորդման պրոցեսի t տևողությունից) կախման գրաֆիկը պատկերված է նկ. 208-ում: Որոշ ժամանակ անց բյուրեղն ամբողջությամբ վերածվում է հալույթի: Եթե հալման ընթացքում ընդհատենք ջերմաքանակ հաղորդելը՝ ապահովելով ջերմաստիճանի հաստատունությունը, ապա կունենանք իրար հետ հավասարակշռության մեջ գտնվող «բյուրեղ-հալույթ» համակարգ: Բյուրեղի հալման պրոցեսն ընթանում է արտաքինից տրվող էներգիայի՝ $Q = m\lambda$ ջերմաքանակի կլանմամբ (§ 73), ուստի հալույթի ներքին էներգիան հենց $m\lambda$ չափով մեծ կլինի նույն m զանգվածով բյուրեղի ներքին էներգիայից: Իսկ դա նշանակում է, որ մասնիկների կարգավորված (կանոնավոր) դասավորվածությանը համապատասխանում է ավելի փոքր էներգիա, քան չկարգավորված վիճակին:



Նկ. 208

Եթե հալույթից էներգիա վերցվի, ապա որոշակի ջերմաստիճանում

դրսևորում է իզոտրոպություն: Բազմաբյուրեղները չունեն նաև միաբյուրեղներին բնորոշ արտաքին կանոնավոր ձևեր:

Բյուրեղային վիճակում միևնույն քիմիական բաղադրությունն ունեցող շատ նյութեր, կախված պայմաններից, կարող են գոյություն ունենալ մի քանի տարբեր ձևերով: Այս հատկությունը հայտնի է որպես ***բազմաձևություն*** (պոլիմորֆիզմ): Օրինակ՝ հայտնի է սառույցի 10 տարատեսակ, ածխածինը գոյություն ունի գրաֆիտի, ալմաստի, կարբինի և ֆուլերենի ձևով (ֆուլերեններ են անվանում ածխածնի 60 և ավելի ատոմներից կազմված մոլեկուլները՝ C_{60}, C_{72}, C_{82} և այլն, և դրանցից կազմված պինդ մարմինները):

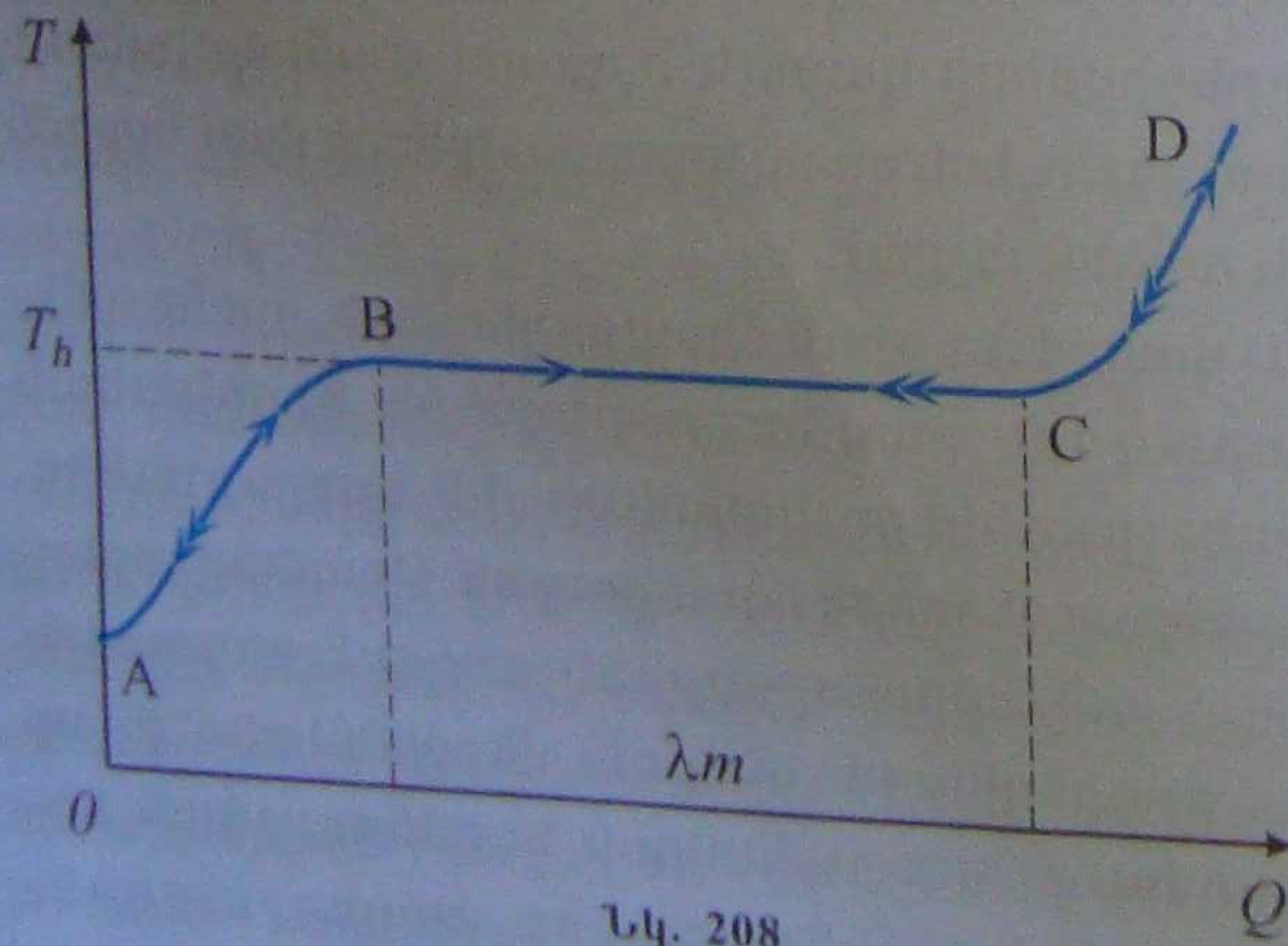
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչո՞վ է բնութագրվում բյուրեղային վիճակը:*
2. *Ի՞նչ է անիզոտրոպությունը:*
3. *Ինչո՞վ է տարբերվում միաբյուրեղը բազմաբյուրեղից:*
4. *Ի՞նչ է հեռակա կարգը:*
5. *Ինչպիսի՞ն են բազմաբյուրեղ մետաղները՝ իզոտրո՞պ, թե՞ անիզոտրոպ:*
6. *Տվե՛ք բյուրեղի անիզոտրոպության մոլեկուլային-կինետիկ մեկնաբանությունը:*

§ 86. Բյուրեղային մարմինների հալումը

Բյուրեղային մարմնի ամենահիմնական հատկությունը, անկախ նմուշի միաբյուրեղ կամ բազմաբյուրեղ լինելու հանգամանքից, տվյալ պայմաններում խիստ որոշակի հալման ջերմաստիճան ունենալն է:

Ինչպես գիտենք, բյուրեղին ջերմաքանակ հաղորդելիս նրա ջերմաստիճանը բարձրանում է և, հասնելով որոշակի արժեքի, այնուհետև մնում է անփոփոխ: Այդ ջերմաստիճանում բյուրեղը սկսում է հալվել՝ պինդ վիճակից անցնել հեղուկ վիճակի: Բյուրեղային մարմնի ջերմաստիճանի՝ տրված ջերմաքանակից (կամ ջերմահաղորդման պրոցեսի t տևողությունից) կախման գրաֆիկը պատկերված է նկ. 208-ում: Որոշ ժամանակ անց բյուրեղն ամբողջությամբ վերածվում է հալույթի: Եթե հալման ընթացքում ընդհատենք ջերմաքանակ հաղորդելը՝ պահպանելով ջերմաստիճանի հաստատունությունը, ապա կունենանք իրար հետ հավասարակշռության մեջ գտնվող «բյուրեղ-հալույթ» համակարգ: Բյուրեղի հալման պրոցեսն ընթանում է արտաքինից տրվող էներգիայի՝ $Q = m\lambda$ ջերմաքանակի կլանմամբ (§ 73), ուստի հալույթի ներքին էներգիան հենց $m\lambda$ չափով մեծ կլինի նույն m զանգվածով բյուրեղի ներքին էներգիայից: Իսկ դա նշանակում է, որ մասնիկների կարգավորված (կանոնավոր) դասավորվածությանը համապատասխանում է ավելի փոքր էներգիա, քան չկարգավորված վիճակին:



Նկ. 208

Եթե հալույթից էներգիա վերցվի, ապա որոշակի ջերմաստիճանում

տեղի կունենա հակառակ պրոցեսը՝ հալույթի պնդացումը (բյուրեղացումը): Անփոփոխ պայմաններում հալման (T_h) և պնդացման (T_{pn}) ջերմաստիճանները համընկնում են՝ $T_h = T_{pn}$:

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության համաձայն՝ ջերմաստիճանն աճելիս բյուրեղը կազմող մասնիկների միջին կինետիկ էներգիան մեծանում է, ուստի մեծանում է նաև մասնիկների՝ հավասարակշռության դիրքերի (հանգույցների) շուրջը բաստային բնույթի տատանումների լայնույթը: Արդյունքում մեծանում են միջմասնիկային հեռավորությունները, և, հետևաբար, թուլանում են ձգողության ուժերը: Որոշակի (հալման) ջերմաստիճանում այդ ուժերն այլևս ի վիճակի չեն պահելու մասնիկներին հանգույցների մոտ: Ստացված էներգիայի հաշվին փոխվում է մասնիկների բաստային շարժման բնույթը. շատ ավելի հաճախակի են դառնում մասնիկների «ցատկերը», ինչի հետևանքով մասնիկների տարածական բաշխման կարգավորվածությունը խախտվում է. բյուրեղային ցանցը սկսում է «քանդվել»:

Հարկ է նշել, որ բյուրեղային վիճակում մասնիկների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան, լինելով բացասական, բացարձակ արժեքով ավելի մեծ է, քան հեղուկ վիճակում, ուստի $T_h = const$ ջերմաստիճանում բյուրեղին տրված էներգիան ծախսվում է համակարգի պոտենցիալ էներգիայի մեծացման վրա: Բյուրեղային ցանցը «քանդելու» պրոցեսը շարունակվում է մինչև ցանցի լրիվ վերանալը, երբ բյուրեղի ողջ զանգվածը վերածվում է հեղուկի: Երբ շարունակվի արտաքինից համակարգին էներգիա հաղորդելը, ապա հեղուկի (հալույթի) ջերմաստիճանը կբարձրանա:

Բյուրեղների մեծ մասի հալման ջերմաստիճանը ճնշման մեծացման հետ աճում է, սակայն այս կախումն ավելի թույլ է, քան հեղուկի եռման ջերմաստիճանի՝ արտաքին ճնշումից ունեցած կախումը: Բանն այն է, որ բյուրեղի վրա գործադրված համակողմանի ճնշումը խոչընդոտում է միջմոլեկուլային հեռավորությունների մեծացմանը, այլ կերպ ասած՝ նրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի մեծացմանը, ինչն անհրաժեշտ է, որպեսզի բյուրեղային նյութն անցնի հեղուկ վիճակի:

Սակայն, ի տարբերություն հեղուկների, որոշ բյուրեղային մարմիններում (օրինակ՝ սառույց, թուջ, բիսմուտ, գերմանիում և այլն) դիտվում է հակառակ երևույթը. ճնշման աճին զուգընթաց հալման ջերմաստիճանը նվազում է: Միաժամանակ այս նյութերի հալման պրոցեսում դիտվում է ծավալի փոքրացում, այսինքն՝ խտության աճ: Օրինակ՝ 0°C-ում սառույցի խտությունը 880 կգ/մ³ է, իսկ ջրինը՝ 999,841 կգ/մ³: Հալման ջերմաստիճանի և խտության նման փոքր ճշված բյուրեղներում պայմանավորված է նրանց բյուրեղային կառուցվածքի առանձնահատկությամբ, այն է՝ մոլեկուլների կարգավորված դասավորության համապատասխանում է ավելի մեծ ծավալ, քան չկարգավորվածին:

Հատկապես սառույցի նշված յուրահատկությունը կարևոր նշանակություն ունի բնության մեջ, ինչպես նաև տեխնիկայում և կենցաղում: Այսպես, երբ ջուրը սառչում է փակ անոթում, նրա ընդարձակման հետևանքով ծագում են հսկայական ճնշման ուժեր, որոնք կարող են պայթեցնել անոթը: Ջրի սառչելն ապարների ճեղքերում ժամանակի ընթացքում քայքայում է լեռնային ապարները: Դա է պատճառը, որ հանձնարարում է «ծեր» լեռները (օրինակ՝ Ուրալյան, Ապալաչյան լեռները ԱՄՆ-ում և այլն) չունեն բարձր լեռնագագաթներ:

տեղի կունենա հակառակ պրոցես՝ հալույթի պնդացում (բյուրեղացում): Անփոփոխ պայմաններում հալման (T_h) և պնդացման ($T_պ$) ջերմաստիճանները համընկնում են՝ $T_h = T_պ$:

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության համաձայն՝ ջերմաստիճանն աճելիս բյուրեղը կազմող մասնիկների միջին կինետիկ էներգիան մեծանում է, ուստի մեծանում է նաև մասնիկների՝ հավասարակշռության դիրքերի (հանգույցների) շուրջը քաոսային բնույթի տատանումների լայնույթը: Արդյունքում մեծանում են միջմասնիկային հեռավորությունները, և, հետևաբար, թուլանում են ձգողության ուժերը: Որոշակի (հալման) ջերմաստիճանում այդ ուժերն այլևս ի վիճակի չեն պահելու մասնիկներին հանգույցների մոտ: Ստացված էներգիայի հաշվին փոխվում է մասնիկների քաոսային շարժման բնույթը. շատ ավելի հաճախակի են դառնում մասնիկների «ցատկերը», ինչի հետևանքով մասնիկների տարածական բաշխման կարգավորվածությունը խախտվում է. բյուրեղային ցանցը սկսում է «քանդվել»:

Հարկ է նշել, որ բյուրեղային վիճակում մասնիկների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան, լինելով բացասական, բացարձակ արժեքով ավելի մեծ է, քան հեղուկ վիճակում, ուստի $T_h = const$ ջերմաստիճանում բյուրեղին տրված էներգիան ծախսվում է համակարգի պոտենցիալ էներգիայի մեծացման վրա: Բյուրեղային ցանցը «քանդելու» պրոցեսը շարունակվում է մինչև ցանցի լրիվ վերանալը, երբ բյուրեղի ողջ զանգվածը վերածվում է հեղուկի: Եթե շարունակվի արտաքինից համակարգին էներգիա հաղորդելը, ապա հեղուկի (հալույթի) ջերմաստիճանը կբարձրանա:

Բյուրեղների մեծ մասի հալման ջերմաստիճանը ճնշման մեծացման հետ աճում է, սակայն այս կախումն ավելի թույլ է, քան հեղուկի եռման ջերմաստիճանի՝ արտաքին ճնշումից ունեցած կախումը: Բանն այն է, որ բյուրեղի վրա գործադրված համակողմանի ճնշումը խոչընդոտում է միջմոլեկուլային հեռավորությունների մեծացմանը, այլ կերպ ասած՝ նրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի մեծացմանը, ինչն անհրաժեշտ է, որպեսզի բյուրեղային նյութն անցնի հեղուկ վիճակի:

Սակայն, ի տարբերություն հեղուկների, որոշ բյուրեղային մարմիններում (օրինակ՝ սառույց, թուջ, բիսմուտ, գերմանիում և այլն) դիտվում է հակառակ երևույթը. ճնշման աճին զուգընթաց հալման ջերմաստիճանը նվազում է: Միաժամանակ այս նյութերի հալման պրոցեսում դիտվում է ծավալի փոքրացում, այսինքն՝ խտության աճ: Օրինակ՝ 0°C-ում սառույցի խտությունը 880 կգ/մ³ է, իսկ ջրինը՝ 999,841 կգ/մ³: Հալման ջերմաստիճանի և խտության նման վարքը նշված բյուրեղներում պայմանավորված է դրանց բյուրեղային կառուցվածքի առանձնահատկությամբ, այն է՝ մոլեկուլների կարգավորված դասավորությանը համապատասխանում է ավելի մեծ ծավալ, քան չկարգավորվածին:

Հատկապես սառույցի նշված յուրահատկությունը կարևոր նշանակություն ունի բնության մեջ, ինչպես նաև տեխնիկայում և կենցաղում: Այսպես, երբ ջուրը սառչում է փակ անոթում, նրա ընդարձակման հետևանքով ծագում են հսկայական ճնշման ուժեր, որոնք կարող են պայթեցնել անգամ ամենաամուր անոթը: Ջրի սառչելը ապարների ճեղքերում ժամանակի ընթացքում քայքայում է լեռնային ապարները: Դա է պատճառը, որ համեմատաբար «ծեր» լեռները (օրինակ՝ Ուրալյանը՝ Ռուսաստանում, Ապալաչները՝ ԱՄՆ-ում և այլն) չունեն բարձր լեռնագագաթներ:

Փորձված վարորդները գիտեն, որ եղանակները ցրտելիս վտանգավոր է մեքենայի շարժիչի հովացման համար ջուր օգտագործելը, քանի որ գիշերվա ընթացքում ջերմաստիճանի հնարավոր կտրուկ անկման հետևանքով ջուրը կարող է վերածվել սառույցի և, ընդարձակվելով փակ ծավալում, շարքից հանել շարժիչը: Նշված վտանգից խուսափելու համար դեռ վաղ աշնանն անհրաժեշտ է շարժիչի հովացման համակարգում ջուրը փոխարինել ցածր` $-40°C \div -50°C$ բյուրեղացման ջերմաստիճան ունեցող հակասառիչ հեղուկով (անտիֆրիզով):

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞րն է բյուրեղային մարմինների ամենահիմնական հատկությունը:*
2. *Ինչու՞ է հալման պրոցեսում բյուրեղի հալման ջերմաստիճանը մնում հաստատուն, չնայած որ նրան անընդհատ ջերմաքանակ է տրվում:*
3. *Ինչի՞ վրա է ծախսվում հալման պրոցեսում բյուրեղին տրված ջերմաքանակը:*
4. *Ե՞րբ է մեծ համակարգի ներքին էներգիան` բյուրեղայի՞ն, թե՞ հալված վիճակում:*
5. *Տվե՛ք հալման պրոցեսի մոլեկուլային-կինետիկ մեկնաբանությունը:*
6. *Կախվա՞ծ է արդյոք բյուրեղի հալման ջերմաստիճանն արտաքին ճնշումից:*
7. *Փոփոխվու՞մ է արդյոք բյուրեղի ծավալը հալման պրոցեսում:*

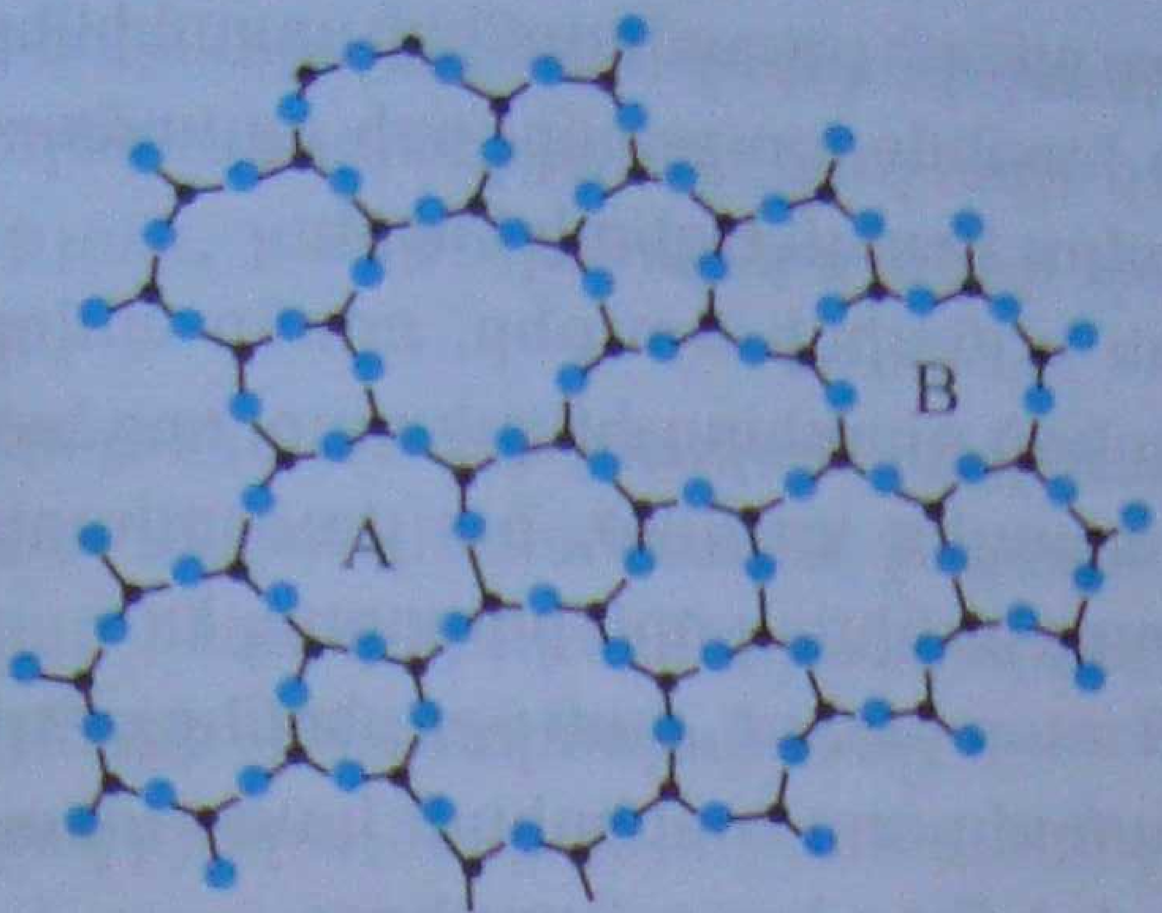
§ 87. Ամորֆ մարմիններ: Հեղուկ բյուրեղներ

Ամորֆ պինդ մարմինները, ի տարբերություն բյուրեղների, իզոտրոպ են. նրանց ֆիզիկական հատկությունները կախված չեն ընտրված ուղղությունից: Այս փաստը խոսում է այն մասին, որ ամորֆ մարմինները չունեն կանոնավոր ներքին կառուցվածք: Ինչպես ցույց են տալիս փորձարարական հետազոտությունները, ամորֆ մարմնում ատոմների (մասնիկների) դասավորության որոշ կարգ գոյություն ունի միայն ամենամոտ հարևանների միջև: Սա նշանակում է, որ ամորֆ մարմնի տարբեր մասերում գտնվող միևնույն ատոմի շրջապատում հարևանների դասավորությունները տարբեր են (նկ. 209-ում A և B տիրույթներում մասնիկների դասավորություններն իրարից զգալիորեն տարբերվում են): Ընդունված է ասել, որ ամորֆ մարմիններն օժտված են ***մոտակա կարգով***, ի տարբերություն բյուրեղների, որոնք օժտված են հեռակա կարգով (հասկանալի է, որ բյուրեղում մոտակա կարգը միշտ առկա է):

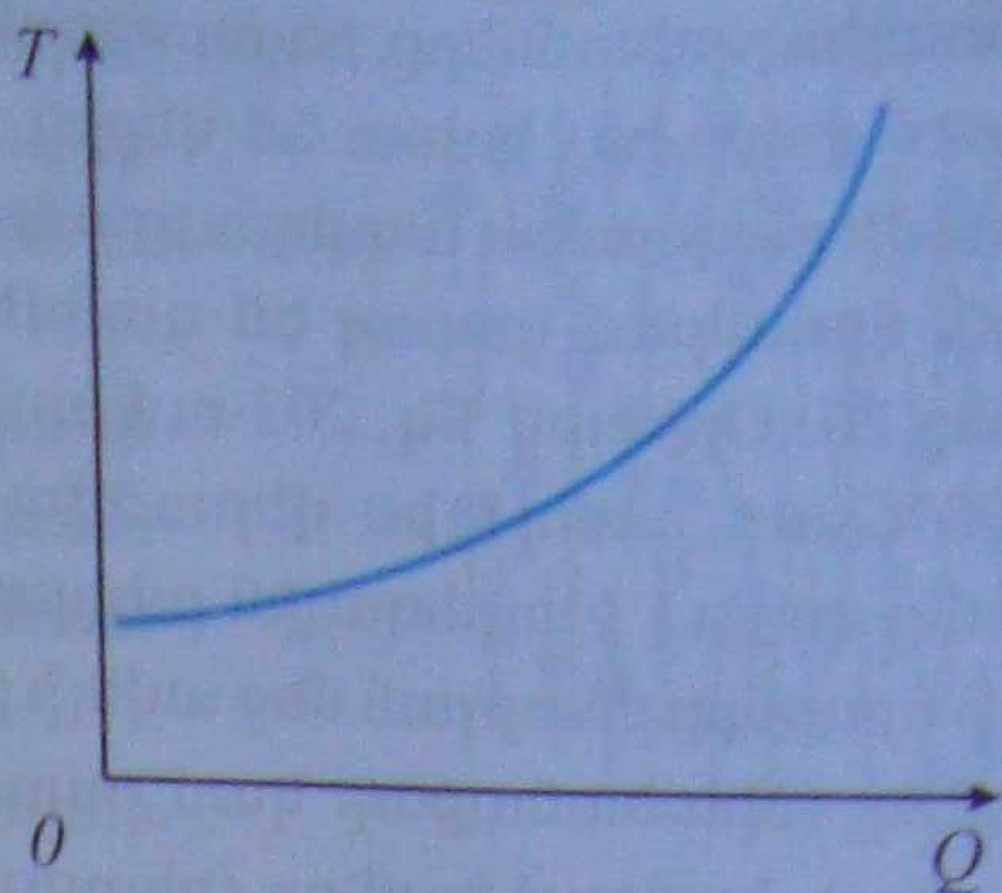
Ամորֆ մարմինների ներքին կանոնավոր կառուցվածքի բացակայության անմիջական հետևանք է այն, որ նրանք չունեն հալման ջերմաստիճան: Եթե ամորֆ մարմինը տաքացնենք, ապա ջերմաքանակ հաղորդելուն զուգընթաց նրա ջերմաստիճանն անընդհատ կբարձրանա (նկ. 210), այն աստիճանաբար կփափկի և կվերածվի հեղուկի: Եթե այդ հեղուկից ջերմաքանակ վերցնենք, ապա նրա ջերմաստիճանն անընդհատ կնվազի, և հեղուկը կանցնի պինդ ամորֆ վիճակի:

Ամորֆ մարմնի ֆիզիկական հատկությունները կախված են ինչպես նրա վիճակից, այնպես էլ արտաքին ազդեցությունների բնույթից:

Որքան բարձր է ամորֆ մարմնի ջերմաստիճանը և որքան երկարատև է արտաքին ազդեցությունը, այնքան ամորֆ մարմնի հատկություններն ավելի մոտ են հեղուկների հատկություններին: Օրինակ` ծյութի կոշտ կտորը շոգ եղանակին, մի քանի օրվա ընթացս-



Նկ. 209



Նկ. 210

քում, ծանրության ուժի ազդեցությամբ տարածվում է կոշտ մակերևույթով. մեծ մածուցիկությամբ հեղուկի նման այն հոսում է:

Բարձր ջերմաստիճաններում ապակին փափկում է այնքան, որ նրան հեշտությամբ տալիս են տարբեր ձևեր, նրանից պատրաստում ամենազանազան իրեր՝ «փչելով» այն (ապակի փչողների արհեստը հիմնված է ապակու հենց այս հատկության վրա):

Մյուս կողմից, որքան ցածր է ամորֆ մարմնի ջերմաստիճանը և որքան կարճատև է արտաքին ազդեցությունը, այնքան ամորֆ մարմնի հատկությունները ավելի մոտ են պինդ բյուրեղային մարմնի հատկություններին: Այսպես, օրինակ, նույն ձյութի կտորը սենյակային ջերմաստիճաններում մուրճի հարվածից փշրվում է և վերածվում սուր եզրեր ունեցող կտորների, ինչպես բյուրեղային նմուշը:

Ամորֆ մարմինների նման վարքը պայմանավորված է նրանց մոլեկուլային կառուցվածքով: Ամորֆ նյութի, ինչպես և հեղուկի մասնիկները ունեն «նստակյաց» կյանքի որոշակի ժամանակ, որի ընթացքում կատարում են տատանումներ տրված դիրքերի շուրջը: Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց «նստակյաց» կյանքի տևողությունը կտրուկ փոքրանում է, մասնիկներն ավելի «շարժուն» են դառնում. զգալիորեն մեծանում է «ցատկերի» թիվը, և մասնիկներն ավելի հեշտությամբ են ենթարկվում արտաքին երկարատև ազդեցությանը:

Ընդհակառակը, ցածր ջերմաստիճաններում «նստակյաց» կյանքի տևողությունը մեծանում է. մասնիկներն ավելի ու ավելի հազվադեպ են փոխում իրենց դիրքերը և կարճատև արտաքին ազդեցությունների դեպքում «չեն հասցնում» ենթարկվել դրանց: Արդյունքում ամորֆ մարմինն իրեն պահում է որպես պինդ բյուրեղային մարմին:

Ներքին կառուցվածքով ամորֆ մարմինները մոտ են հեղուկներին, ուստի նրանց հաճախ անվանում են նաև ***գերսառեցված հեղուկներ***:

Նյութի ամորֆ վիճակը ջերմադինամիկական տեսանկյունից, որպես կանոն, անկայուն է: Ժամանակի ընթացքում ամորֆ նյութն անցնում է բյուրեղային վիճակի, քանի որ կարգավորված վիճակին համապատասխանող ներքին էներգիան ավելի փոքր է, քան չկարգավորվածինը, սակայն երբեմն այդ անցումը տևում է տասնյակ և հարյուրավոր տարիներ: Այսպիսի անցման օրինակ կարող է ծառայել սովորական ապակին: Լինելով թափանցիկ՝ երկար տարիների ընթացքում այն «պղտորվում» է. նրանում առաջանում են տարբեր նյութերի սիլիկատների բյուրեղիկներ, որոնց օպտիկական հատկությունները տարբերվում են ամորֆ շրջապատի հատկություններից: Ի դեպ, կարելի է հայտնաբերել մեծ «տարիք» ունեցող ապակիների՝ հեղուկներին բնորոշ հոսելու երևույթը: Իրոք, ինչպես

ցույց են տալիս չափումները, հնադարյան կառույցների լուսամուտների ապակիները ստորին մասում փոքր-ինչ հաստ են վերին մասի համեմատությամբ, որի պատճառը ծանրության ուժի բազմամյա ազդեցությամբ ապակու հոսելն է դեպի ներքև:

Ամորֆ վիճակում կարող են գտնվել նաև այնպիսի նյութեր, որոնք սովորաբար բյուրեղներ են: Օրինակ՝ նկ. 203-ում պատկերված բյուրեղային քվարցը, որը հալվում է մոտ 1700°C-ում, սառչելիս վերածվում է, այսպես կոչված, հալված քվարցի, որի խտությունը փոքր է բյուրեղային քվարցի խտությունից, և որն իզոտրոպ է:

Ամորֆ նյութերը բնության մեջ ավելի քիչ են տարածված, քան բյուրեղները: Դրանցից են՝ արևակնը (ծիածանաքար կամ օպալ), վանակատը (օբսիդիան կամ «սատանի եղունգ»), սաթը, հանքածյութերը (բիտումներ), խեժերը և այլ նյութեր:

Ներկայումս մետաղների հալույթների գերարագ սառեցման եղանակով ստանում են ամորֆ մետաղական ապակիներ, որոնք օժտված են եզակի ֆիզիկական հատկություններով:

Ամորֆ նյութերից են նաև պոլիմերները՝ նյութեր, որոնք կազմված են հսկայական թվով միատեսակ օղակներից (մոնոմերներից): Օղակները միմյանց հետ կապված են ամուր քիմիական կապերով՝ կազմելով երկար շղթայիկներ: Օրինակ՝ կաուչուկի մոլեկուլը բաղկացած է $CH_2—CH—CH—CH_2$ օղակներից, որոնց թիվը կարող է շատ մեծ լինել, այնպես որ առանձին մոլեկուլների երկարությունը կարող է հասնել 10^{-3} մ-ի:

Պոլիմերների ֆիզիկական հատկությունները հետևանք են դրանց մոլեկուլների կառուցվածքի և ջերմային շարժման: Մոլեկուլները ճկվում, միահյուսվում, փաթաթվում են միմյանց, ստեղծում կծիկներ: Արդյունքում մոլեկուլների դասավորությունը ստանում է քաոսային, չկարգավորված բնույթ, ուստի պոլիմերները դրսևորում են հիմնականում իզոտրոպ հատկություններ: Պոլիմերներին ավելացնելով որոշակի խառնուրդներ՝ կարելի է ստեղծել ամուր, թեթև, հրակայուն, դժվարահալ և այլ հատկություններով օժտված սինթետիկ նյութեր: Պոլիմերներից են՝ պլաստմասսաները (բակելիտ, էբոնիտ, կարբոլիտ և այլն), օրգանական ապակին, ցելոֆանը, պոլիէթիլենը, սինթետիկ կաուչուկները, արհեստական թելերը (կապրոն, նեյլոն, դակրոն և այլն) և բազմաթիվ այլ նյութեր: Բնական պոլիմերներ են՝ բամբակը, բուրդը, փայտը, կաշին, բնական մետաքսը և այլն:

Հեղուկ բյուրեղներ: Ամորֆ նյութերին բնորոշ հատկությունների երկակիությամբ, այսինքն՝ և՛ պինդ, և՛ հեղուկ վիճակին բնորոշ հատկություններով են օժտված նաև ***հեղուկ բյուրեղները***: Առաջին հեղուկ բյուրեղը հայտնաբերել է ավստրիացի բուսաբան Ֆ.Ռայնիտցերը 1888 թ.: Ի տարբերություն սովորական հեղուկների, որոնք օժտված են միայն մոտակա կարգով, հեղուկ բյուրեղներում մեկ ուղղությամբ դիտվում է մասնիկների դասավորության հեռակա կարգ:

Օրինակ՝ նկ. 211-ում պատկերված հեղուկ բյուրեղում մոլեկուլների ծանրության կենտրոնները բաշխված են պատահական ձևով, սակայն բոլոր մոլեկուլներն ուղղված են միևնույն ուղղությամբ. այսպիսի հեղուկ բյուրեղը կոչվում է ***նեմատիկ*** (հունարեն «նեմա»՝ թել բառից): Քանի որ մոլեկուլների կողմնորոշումն ունի կարգավորված բնույթ, ապա հեղուկ բյուրեղներն օժտված են անիզոտրոպությամբ: Օրինակ՝ դրանք, ինչպես սովորական հեղուկները, հոսում են և առաջացնում են կաթիլներ, որոնք, սակայն, ոչ թե գնդաձև են, այլ ձգված են մի ուղղությամբ:

Նկ. 212-ում պատկերված է ***սմեկտիկ*** (հունարեն «սմեգմա»՝ օճառ բառից) հեղուկ բյուրեղը, որն ավելի կարգավորված է, քան նեմատիկը: Նրանում, բացի նեմատիկներին

յույց են տալիս չափումները, հնադարյան կառույցների լուսամուտների ապակիները ստորին մասում փոքր-ինչ հաստ են վերին մասի համեմատությամբ, որի պատճառը ծանրության ուժի բազմամյա ազդեցությամբ ապակու հոսելն է դեպի ներքև:

Ամորֆ վիճակում կարող են գտնվել նաև այնպիսի նյութեր, որոնք սովորաբար բյուրեղներ են: Օրինակ` նկ. 203-ում պատկերված բյուրեղային քվարցը, որը հալվում է մոտ 1700°C-ում, սառչելիս վերածվում է, այսպես կոչված, հալված քվարցի, որի խտությունը փոքր է բյուրեղային քվարցի խտությունից, և որն իզոտրոպ է:

Ամորֆ նյութերը բնության մեջ ավելի քիչ են տարածված, քան բյուրեղները: Դրանցից են` արևակնը (ծիծաղնաքար կամ օպալ), վանակատը (օբսիդիան կամ «սատանի եղունգ»), սաթը, հանքածյութերը (բիտումներ), խեժերը և այլ նյութեր:

Ներկայումս մետաղների հալույթների գերարագ սառեցման եղանակով ստանում են ամորֆ մետաղական ապակիներ, որոնք օժտված են եզակի ֆիզիկական հատկություններով:

Ամորֆ նյութերից են նաև պոլիմերները` նյութեր, որոնք կազմված են հսկայական թվով միատեսակ օղակներից (մոնոմերներից): Օղակները միմյանց հետ կապված են ամուր քիմիական կապերով` կազմելով երկար շղթայիկներ: Օրինակ` կաուչուկի մոլեկուլը բաղկացած է $CH_2—CH—CH—CH_2$ օղակներից, որոնց թիվը կարող է շատ մեծ լինել, այնպես որ առանձին մոլեկուլների երկարությունը կարող է հասնել 10^{-3} մ-ի:

Պոլիմերների ֆիզիկական հատկությունները հետևանք են դրանց մոլեկուլների կառուցվածքի և ջերմային շարժման: Մոլեկուլները ճկվում, միահյուսվում, փաթաթվում են միմյանց, ստեղծում կծիկներ: Արդյունքում մոլեկուլների դասավորությունը ստանում է քաոսային, չկարգավորված բնույթ, ուստի պոլիմերները դրսևորում են հիմնականում իզոտրոպ հատկություններ: Պոլիմերներին ավելացնելով որոշակի խառնուրդներ` կարելի է ստեղծել ամուր, թեթև, հրակայուն, դժվարահալ և այլ հատկություններով օժտված սինթետիկ նյութեր: Պոլիմերներից են` պլաստմասսաները (բակելիտ, էբոնիտ, կարբոլիտ և այլն), օրգանական ապակին, ցելոֆանը, պոլիէթիլենը, սինթետիկ կաուչուկները, արհեստական թելերը (կապրոն, նեյլոն, դակրոն և այլն) և բազմաթիվ այլ նյութեր: Բնական պոլիմերներ են` բամբակը, բուրդը, փայտը, կաշին, բնական մետաքսը և այլն:

Հեղուկ բյուրեղներ: Ամորֆ նյութերին բնորոշ հատկությունների երկակիությամբ, այսինքն` և՛ պինդ, և՛ հեղուկ վիճակին բնորոշ հատկություններով են օժտված նաև ***հեղուկ բյուրեղները***: Առաջին հեղուկ բյուրեղը հայտնաբերել է ավստրիացի բուսաբան Ֆ.Ռայնիտցերը 1888 թ.: Ի տարբերություն սովորական հեղուկների, որոնք օժտված են միայն մոտակա կարգով, հեղուկ բյուրեղներում մեկ ուղղությամբ դիտվում է մասնիկների դասավորության հեռակա կարգ:

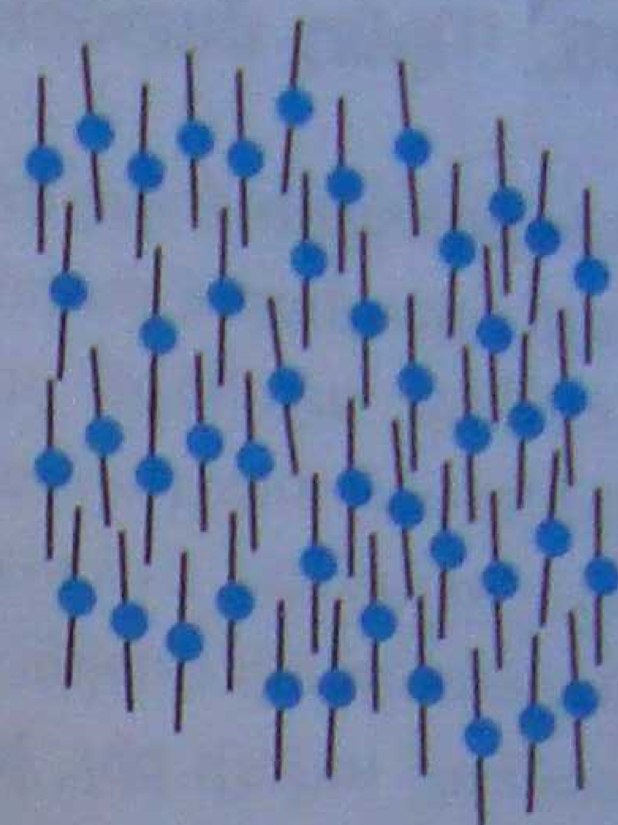
Օրինակ` նկ. 211-ում պատկերված հեղուկ բյուրեղում մոլեկուլների ծանրության կենտրոնները բաշխված են պատահական ձևով, սակայն բոլոր մոլեկուլներն ուղղված են միևնույն ուղղությամբ. այսպիսի հեղուկ բյուրեղը կոչվում է ***նեմատիկ*** (հունարեն «նեմա»` թել բառից): Քանի որ մոլեկուլների կողմնորոշումն ունի կարգավորված բնույթ, ապա հեղուկ բյուրեղներն օժտված են անիզոտրոպությամբ: Օրինակ` դրանք, ինչպես սովորական հեղուկները, հոսում են և առաջացնում են կաթիլներ, որոնք, սակայն, ոչ թե գնդաձև են, այլ ձգված են մի ուղղությամբ:

Նկ. 212-ում պատկերված է ***սմեկտիկ*** (հունարեն «սմեգմա»` օճառ բառից) հեղուկ բյուրեղը, որն ավելի կարգավորված է, քան նեմատիկը: Նրանում, բացի նեմատիկներին

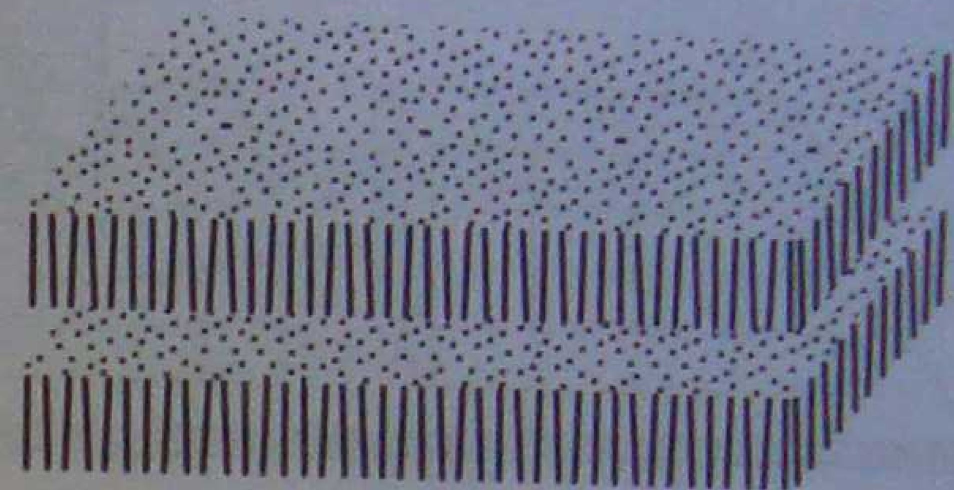
բնորոշ կողմնորոշումային կարգավորումից, առկա է նաև մոլեկուլների դիրքերի որոշակի կարգավորվածություն, քանի որ մոլեկուլները կազմում են շերտեր:

Էլեկտրական, մագնիսական և այլ հատկությունների հետ մեկտեղ հատկապես ցայտուն է արտահայտված հեղուկ բյուրեղների օպտիկական հատկությունների անիզոտրոպությունը:

Հեղուկ բյուրեղները գոյություն ունեն ջերմաստիճանների որոշակի տիրույթում: Այդ տիրույթից դուրս, ավելի բարձր ջերմաստիճաններում դրանք վերածվում են սովորական (իզոտրոպ) հեղուկի, իսկ ավելի ցածր ջերմաստիճաններում՝ պինդ բյուրեղային մարմնի:



Նկ. 211



Նկ. 212

Ներկայումս հայտնի են բազմաթիվ հեղուկ բյուրեղներ: Դրանցից են կենսաբանական ծագում ունեցող բազմաթիվ օրգանական նյութեր, օրինակ՝ ժառանգականության ինֆորմացիայի կրող դեզօքսիռիբոնուկլեինաթթուն (ԴՆԹ), կոլագենը, ուղեղանյութը և այլն:

Հեղուկ բյուրեղների հատկությունները կարելի է կտրուկ փոփոխել չափազանց թույլ արտաքին ազդակների միջոցով (ջերմաստիճան, էլեկտրական, մագնիսական դաշտեր և այլն), ինչի շնորհիվ դրանք լայնորեն օգտագործվում են տեխնիկայում, արդյունաբերության մեջ, կենցաղում: Մասնավորապես, հեղուկ բյուրեղների կիրառությունը հանգեցրեց տեխնիկական հեղափոխության ինֆորմացիայի ներկայացման ցուցասարքերի՝ դիսփլեյների բնագավառում:

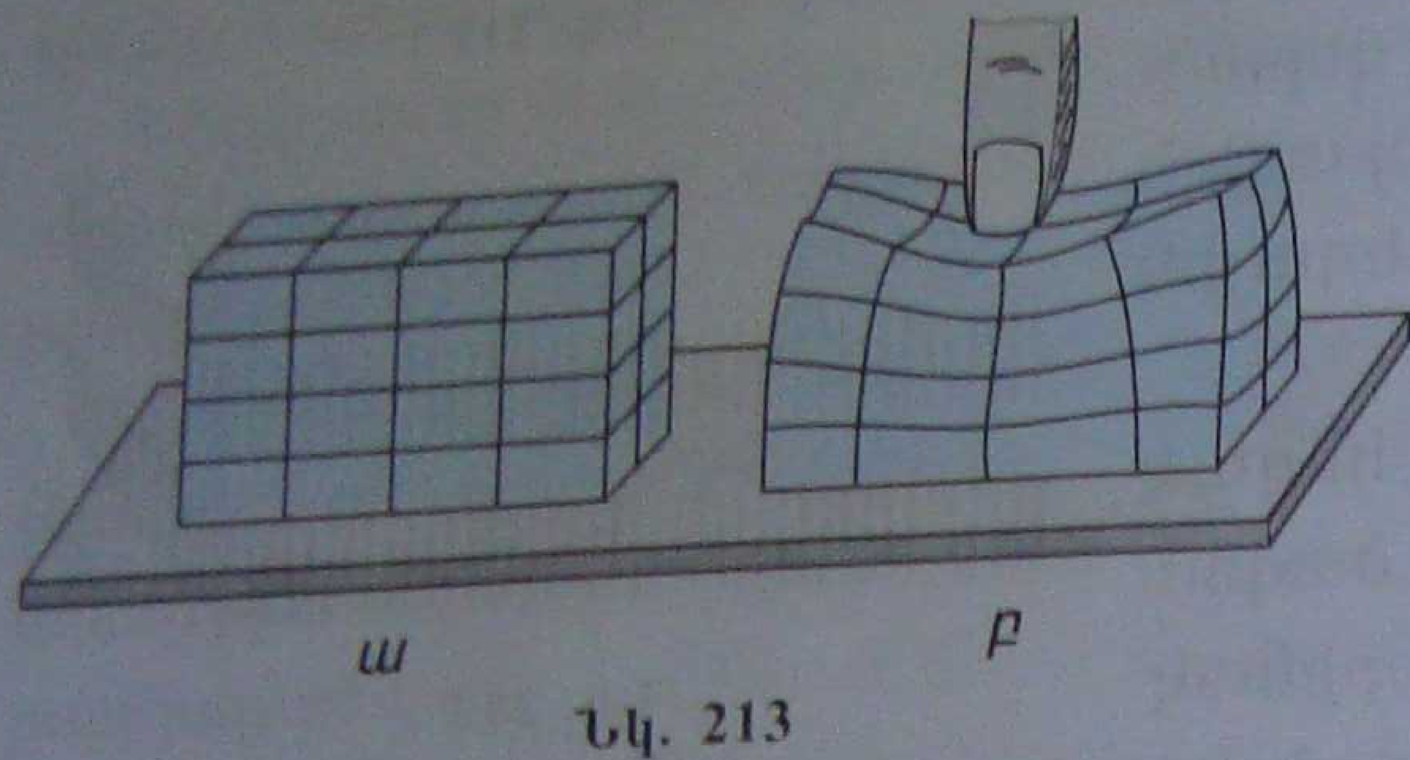
Հեղուկ բյուրեղների նշանակությունը կարևորվում է հատկապես կենսաբանության և բժշկության մեջ: Դրանց հատկությունների հետագա ուսումնասիրությունը թույլ կտա պարզել կենսաբանական մի շարք պրոցեսների մեխանիզմները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ կառուցվածքային տարբերություն կա բյուրեղային և ամորֆ մարմինների միջև:*
2. *Ինչու՞ են ամորֆ մարմիններն իզոտրոպ:*
3. *Ի՞նչ է մոտակա կարգը:*
4. *Ինչու՞ ամորֆ մարմինը չունի հալման ջերմաստիճան:*
5. *Գծե՛ք ամորֆ մարմնի ջերմաստիճանի՝ մարմնից վերցված ջերմաքանակից կախման մոտավոր տեսքը:*
6. *Ի՞նչ պայմաններում են ամորֆ մարմնի հատկությունները մոտ բյուրեղների հատկություններին և ի՞նչ պայմաններում՝ հեղուկների հատկություններին:*
7. *Ինչո՞վ են տարբերվում հեղուկ բյուրեղները բյուրեղային և ամորֆ մարմիններից:*
8. *Ինչպիսի՞ն է հեղուկ բյուրեղի կառուցվածքը:*
9. *Ինչո՞վ է պայմանավորված հեղուկ բյուրեղների լայն կիրառությունը:*

§ 88. Պինդ մարմինների դեֆորմացիաների տեսակները

Դեֆորմացիա է կոչվում մարմնի ձևի կամ ծավալի փոփոխությունը: Դեֆորմացիա է կոչվում մարմնի տարբեր մասեր կատարում են ոչ միատեսակ տեղափոխություններ, այսինքն՝ չդեֆորմացված մարմնում ունեցած իրենց դիրքերից տեղաշարժվում են տարբեր չափերով: Օրինակ՝ սեղանին դրված ռետինն ուղղանկյունանիստի տեսք (նկ. 213,*ա*): Եթե դրա միջնամասում ուժ գործադրենք, մատով սեղմելով, ապա ռետինի վերին՝ մատին մոտ շերտերը կտեղափոխվեն զգալի չափով, ստորին շերտերը՝ ավելի քիչ, իսկ սեղանին հպվող մասն ընդհանրապես չի տեղաշարժվի (նկ. 213,*բ*): Դեֆորմացված ռետինը որոշակի ուժով ազդում է դեֆորմացիա առաջացնող մարմնի՝ մատի վրա: Եթե մատը հեռացնենք, ապա ռետինը կընդունի իր սկզբնական ձևը: ***Այն դեֆորմացիաները, որոնք լրիվ անհետանում են դեֆորմացիա առաջացնող ուժերի վերացումից հետո, կոչվում են առաձգական դեֆորմացիաներ:***



Նկ. 213

Եթե դեֆորմացիա առաջացնող ուժի վերացումից հետո դեֆորմացիաները լրիվ չեն անհետանում, այսինքն՝ դեֆորմացված մարմինը լրիվ չի վերականգնում իր սկզբնական ձևը, ապա դեֆորմացիան կոչվում է ***պլաստիկ***:

Դեֆորմացիայի առաձգական կամ պլաստիկ լինելը կախված է ինչպես դեֆորմացվող մարմնի հատկություններից, այնպես էլ դեֆորմացիայի չափից, այսինքն՝ դեֆորմացիա առաջացնող ուժից և նրա ազդեցության տևողությունից: Օրինակ՝ փոքր չափով դեֆորմացված պողպատե քանոնը, ազդող ուժը վերացնելուց հետո, լրիվ վերականգնում է իր սկզբնական ձևը: Սակայն եթե այն ենթարկենք մեծ դեֆորմացիայի՝ շատ կորացնելով, ապա ուժը վերացնելուց հետո նրա սկզբնական ձևը լիովին չի վերականգնվի: Քանոնի հետ նույնը տեղի կունենա, եթե այն դեֆորմացնենք փոքր չափով, սակայն դեֆորմացված վիճակում պահենք երկար ժամանակ (մի քանի ամիս կամ տարի):

Դեֆորմացիայի հետևանքով մարմինները կարող են ընդունել ամենաբազմազան ձևեր, սակայն ցանկացած դեֆորմացիա կարելի է ներկայացնել երկու տիպի դեֆորմացիաների միջոցով՝ ձգում (կամ սեղմում) և սահք:

Ձգման (սեղմման) դեֆորմացիա: Ձողի մի ծայրն անշարժ ամրացնենք հենարանին, իսկ մյուս ծայրին կիրառենք ձողի երկայնական առանցքով ուղղված $\vec{F}$ ուժ (նկ. 214), որի ազդեցությամբ ձողի երկարությունը l_0-ից կդառնա l : $\Delta l = l - l_0$ մեծությունը բնութագրում է ձողի դեֆորմացիան և կոչվում է ***բացարձակ երկարացում***: Եթե $l > l_0$, այսինքն՝ $\Delta l > 0$, ապա գործ ունենք ***ձգման դեֆորմացիայի*** հետ (նկ. 214,*ա*): Որքան մեծ է l_0-ն, այնքան (տրված F ուժի դեպքում) մեծ կլինի Δl-ը, սակայն ձողի երկարության յուրաքանչյուր միավորի փոփոխությունը՝

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (18.1)$$

մեծություն, որը կոչվում է *հարաբերական երկարացում (դեֆորմացիա)*, կախված չի լինի ձողի սկզբնական l_0 երկարությունից:

Եթե կրկնենք փորձը՝ վերցնելով լայնական հատույթի ավելի մեծ մակերեսով ձող, ապա կհամոզվենք, որ նույն ε հարաբերական դեֆորմացիան ստանալու համար պահանջվում է ավելի մեծ ուժ, քան F-ն է, ընդ որում, քանի անգամ մեծացնում ենք ձողի լայնական հատույթի մակերեսը, նույնքան անգամ պետք է մեծացնենք ազդող ուժը: Այլ կերպ ասած՝ ε-ը կախված է ձողի լայնական հատույթի մակերեսի յուրաքանչյուր միավորի վրա ազդող ուժից, որը կոչվում է *մեխանիկական լարում*, և տրվում է

$$\sigma = \frac{F}{S} \qquad (18.2)$$

բանաձևով, որտեղ S-ը ձողի լայնական հատույթի մակերեսն է: (18.2) բանաձևից հետևում է, որ մեխանիկական լարման միավորը պասկալն է (Պա):

Նկ. 214

Այս փորձերի հիման վրա գալիս ենք այն եզրակացության, որ *հարաբերական դեֆորմացիայի մոդուլն ուղիղ համեմատական է մեխանիկական լարմանը*՝

$$|\varepsilon| \sim \sigma \; : \qquad (18.3)$$

Կատարենք մի փորձ ևս՝ միևնույն σ լարումը գործադրելով տարբեր նյութերից, օրինակ, պողպատից և պղնձից պատրաստված ձողերի վրա: Փորձից հետևում է, որ ավելի մեծ է պղնձե ձողի հարաբերական երկարացումը: Ուստի կարելի է մտցնել մի մեծություն, որը բնութագրում է նյութի առաձգական հատկությունները, և (18.3) առնչությունը փոխարեն գրել հետևյալ կապը՝

$$|\varepsilon| = \frac{\sigma}{E}, \qquad (18.4)$$

որտեղ E մեծությունը կոչվում է առաձգականության գործակից կամ Յունգի մոդուլ: Այն ունի լարման չափայնություն (Ն/մ², Պա): Որքան մեծ է E առաձգականության գործակիցը, այնքան (տրված σ-ի դեպքում) փոքր է ε հարաբերական դեֆորմացիան:

Անհրաժեշտ է նշել, որ (18.4) առնչությունը տեղի ունի միայն առաձգական դեֆորմացիաների դեպքում, այսինքն՝ երբ *դեֆորմացիաները փոքր են* $|\Delta l| << l_0$, կամ $|\varepsilon| << 1$: (18.4) առնչությունը հայտնի է որպես Հուկի օրենք ձգման (սեղմման) դեֆորմացիայի համար:

Մեխանիկայի դասընթացից մեզ հայտնի է Հուկի օրենքի ընդհանուր տեսքը (տես

մեծությունը, որը կոչվում է ***հարաբերական երկարացում (դեֆորմացիա)***, կախված չի լինի ձողի սկզբնական l_0 երկարությունից:

Եթե կրկնենք փորձը՝ վերցնելով լայնական հատույթի ավելի մեծ մակերեսով ձող, ապա կհամոզվենք, որ նույն ε հարաբերական դեֆորմացիան ստանալու համար պահանջվում է ավելի մեծ ուժ, քան F-ն է, ընդ որում, քանի անգամ մեծացնում ենք ձողի լայնական հատույթի մակերեսը, նույնքան անգամ պետք է մեծացնենք ազդող ուժը: Այլ կերպ ասած՝ ε-ը կախված է ձողի լայնական հատույթի մակերեսի յուրաքանչյուր միավորի վրա ազդող ուժից, որը կոչվում է ***մեխանիկական լարում,*** և տրվում է

$$\sigma=\frac{F}{S} \qquad (18.2)$$

Նկ. 214

բանաձևով, որտեղ S-ը ձողի լայնական հատույթի մակերեսն է: (18.2) բանաձևից հետևում է, որ մեխանիկական լարման միավորը պասկալն է (Պա):

Այս փորձերի հիման վրա գալիս ենք այն եզրակացության, որ ***հարաբերական դեֆորմացիայի մոդուլն ուղիղ համեմատական է մեխանիկական լարմանը***՝

$$|\varepsilon|\sim\sigma \;: \qquad (18.3)$$

Կատարենք մի փորձ ևս՝ միևնույն σ լարումը գործադրելով տարբեր նյութերից, օրինակ, պղնձից և պողպատից պատրաստված ձողերի վրա: Փորձից հետևում է, որ ավելի մեծ է պղնձե ձողի հարաբերական երկարացումը: Ուստի կարելի է մտցնել մի մեծություն, որը բնութագրում է նյութի առաձգական հատկությունները, և (18.3) առնչության փոխարեն գրել հետևյալ կապը՝

$$|\varepsilon|=\frac{\sigma}{E}, \qquad (18.4)$$

որտեղ E մեծությունը կոչվում է առաձգականության գործակից կամ Յունգի մոդուլ: Այն ունի լարման չափայնություն (Ն/մ², Պա): Որքան մեծ է E առաձգականության գործակիցը, այնքան (տրված σ-ի դեպքում) փոքր է ε հարաբերական դեֆորմացիան:

Անհրաժեշտ է նշել, որ (18.4) առնչությունը տեղի ունի միայն առաձգական դեֆորմացիաների դեպքում, այսինքն՝ երբ ***դեֆորմացիաները փոքր են***՝ $|\Delta l| \ll l_0$, կամ $|\varepsilon| \ll 1$: (18.4) առնչությունը հայտնի է որպես Հուկի օրենք ձգման (սեղմման) դեֆորմացիայի համար:

Մեխանիկայի դասընթացից մեզ հայտնի է Հուկի օրենքի ընդհանուր տեսքը (տե՛ս

6.2 բանաձևը), որը կապ է հաստատում ձողի (զսպանակի) x դեֆորմացիայի և դրա հետևանքով ձողում ծագող $F_{առ.x}$ առաձգականության ուժի միջև`

$$F_{առ.x} = -kx, \qquad (18.5)$$

որտեղ k-ն ձողի կոշտությունն է: Երբ դեֆորմացված ձողը գտնվում է հավասարակշռության վիճակում, ապա առաձգականության $F_{առ.x}$ ուժը հավասարակշռում է դեֆորմացիա առաջացնող արտաքին ուժին` $|F_{առ.x}| = F$, ուստի`

$$F = k\,|x| : \qquad (18.6)$$

Նկատի ունենալով, որ ձգման (կամ սեղմման) դեֆորմացիայի դեպքում $x = \Delta l$, կստանանք`

$$F = k \cdot |\Delta l| : \qquad (18.7)$$

Մյուս կողմից, (18.2), (18.4) բանաձևերից և ε-ի սահմանումից հետևում է, որ

$$F = \sigma \cdot S = |\varepsilon| \cdot ES = \frac{|\Delta l|}{l_0} ES : \qquad (18.8)$$

(18.7) և (18.8) բանաձևերից ձողի k կոշտության համար ստանում ենք`

$$\boxed{k = \frac{S}{l_0} E} : \qquad (18.9)$$

Այս բանաձևում S-ը և l_0-ն արտահայտում են կոշտության կախումը ձողի երկրաչափական բնութագրերից, իսկ E-ն` նյութի տեսակից:

Կոշտության համար ստացված (18.9) բանաձևը մեկնաբանենք մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից: Ինչպես գիտենք (§ 58), պինդ մարմիններում մասնիկները, գտնվելով որոշակի հավասարակշռական հեռավորությունների վրա, միմյանց հետ չեն փոխազդում: Եթե դեֆորմացիայի հետևանքով մարմնի գծային չափերը մեծանում են, ապա մեծանում են նաև միջմասնիկային հեռավորությունները, և ձգողության ուժերը գերազանցում են վանողության ուժին: Բոլոր մասնիկների փոխադարձ ձգողության ուժերի համազորն էլ իրենից ներկայացնում է առաձգականության ուժը, որը, ի վերջո, համակշռում է արտաքին ուժը: Տրված $x = \Delta l$ դեֆորմացիայի դեպքում որքան մեծ լինի l_0 սկզբնական երկարությունը, այնքան ավելի փոքր կլինի մասնիկների երկու հարևան շերտերի հեռավորության փոփոխությունը, հետևաբար` մասնիկների միջև ծագող ձգողության ուժերը և նրանց համազորը` առաձգականության ուժը: Ուստի $F = k\,\Delta l \sim \Delta l / l_0$, որտեղից` $k \sim 1 / l_0$: Մյուս կողմից, որքան մեծ է ձողի լայնական հատույթի մակերեսը, այնքան ավելի շատ են փոխազդող մասնիկների զույգերը, և այնքան ավելի մեծ է դրանց փոխազդեցության համազոր առաձգականության ուժը: Այստեղից հետևում է, որ $F = k\,\Delta l \sim \Delta l\,S$, այսինքն` $k \sim S$: Վերջապես, որքան ուժեղ են փոխազդում տվյալ նյութի մասնիկները, այնքան ավելի մեծ կլինի ծագող ձգողության ուժերի համազորը, այսինքն` կոշտությունը կախված պետք է լինի նյութի տեսակից. $k \sim E$:

Ձգման դեֆորմացիայի են ենթարկվում տարբեր բեռներ բարձրացնող պարանները, ճոպանները, էլեկտրահաղորդման գծերը, նվագարանների լարերը և այլն: Սեղմման դեֆորմացիայի են ենթարկվում շինությունների հիմքերը, պահող սյուները, պատերը, կամուրջների հենասյուները և այլն:

Սահքի դեֆորմացիա*: Եթե նկ. 215,*ա*-ում պատկերված ուղղանկյունանիստի հորիզոնական մակերևույթների վրա կիրառենք մոդուլով իրար հավասար և հակառակ ուղղված ուժեր (օրինակ՝ սեղանին հպվող մակերևույթը սոսնձենք, իսկ վերևինի վրա ազդենք $\vec{F}$ ուժով), ապա այն կընդունի նկ. 215,*բ*-ում պատկերված տեսքը: Այս ուժերի ազդեցությամբ մարմնի շերտերն իրար նկատմամբ սահում, տեղաշարժվում են ուժերի ուղղությանը զուգահեռ ուղղությամբ, որի հետևանքով ուղղանկյունանիստը վերածվում է թեք զուգահեռանիստի: ***Այն դեֆորմացիան, որի դեպքում մարմնի շերտերը տեղաշարժվում են՝ մնալով միմյանց զուգահեռ, կոչվում է սահքի դեֆորմացիա:***

Սահքի դեֆորմացիայի հետևանքով մարմնի ծավալը չի փոփոխվում, քանի որ զուգահեռանիստի հիմքի մակերեսը և բարձրությունը մնում են անփոփոխ:

Սահքի դեֆորմացիան բնութագրվում է α սահքի անկյունով, որը որոշվում է ΔL տեղաշարժի և L_0 բարձրության հարաբերությամբ՝

$$tg\,\alpha = \frac{\Delta L}{L_0}\,: \qquad (18.10)$$

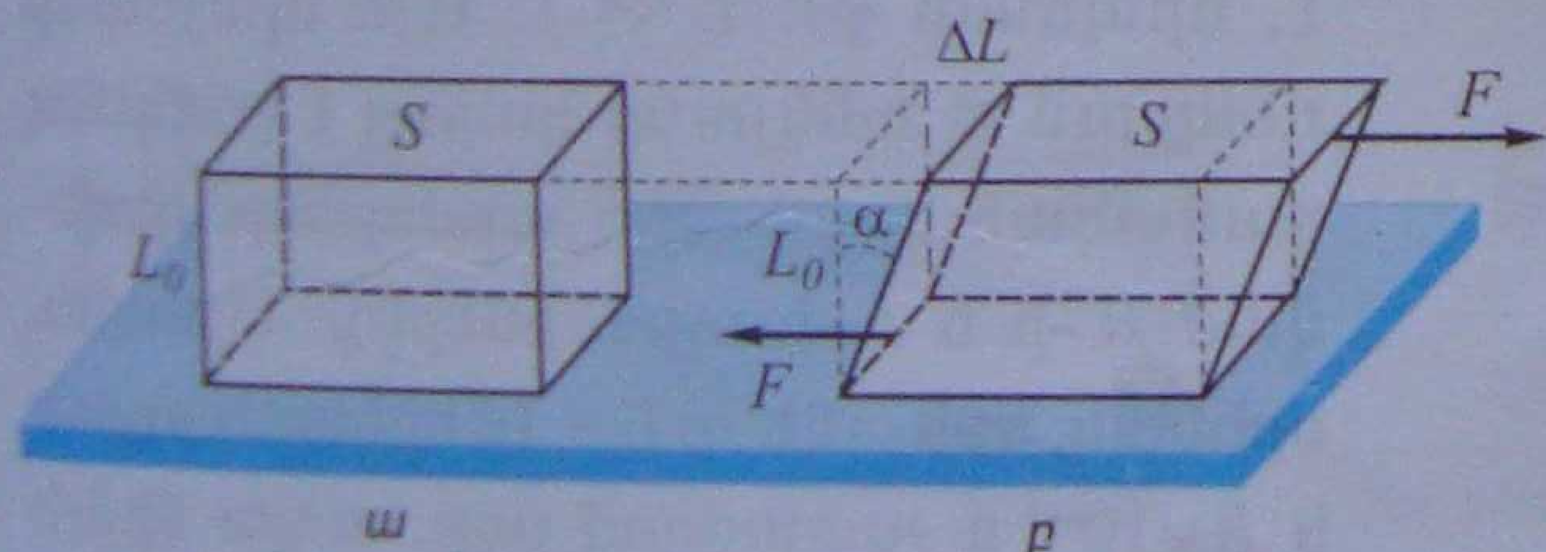
Փոքր՝ $\Delta L / L_0 << 1$ դեֆորմացիաների դեպքում սահքի անկյան համար փորձից ստացվում է հետևյալ բանաձևը՝

$$\alpha \approx \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\tau}{G}\,, \qquad (18.11)$$

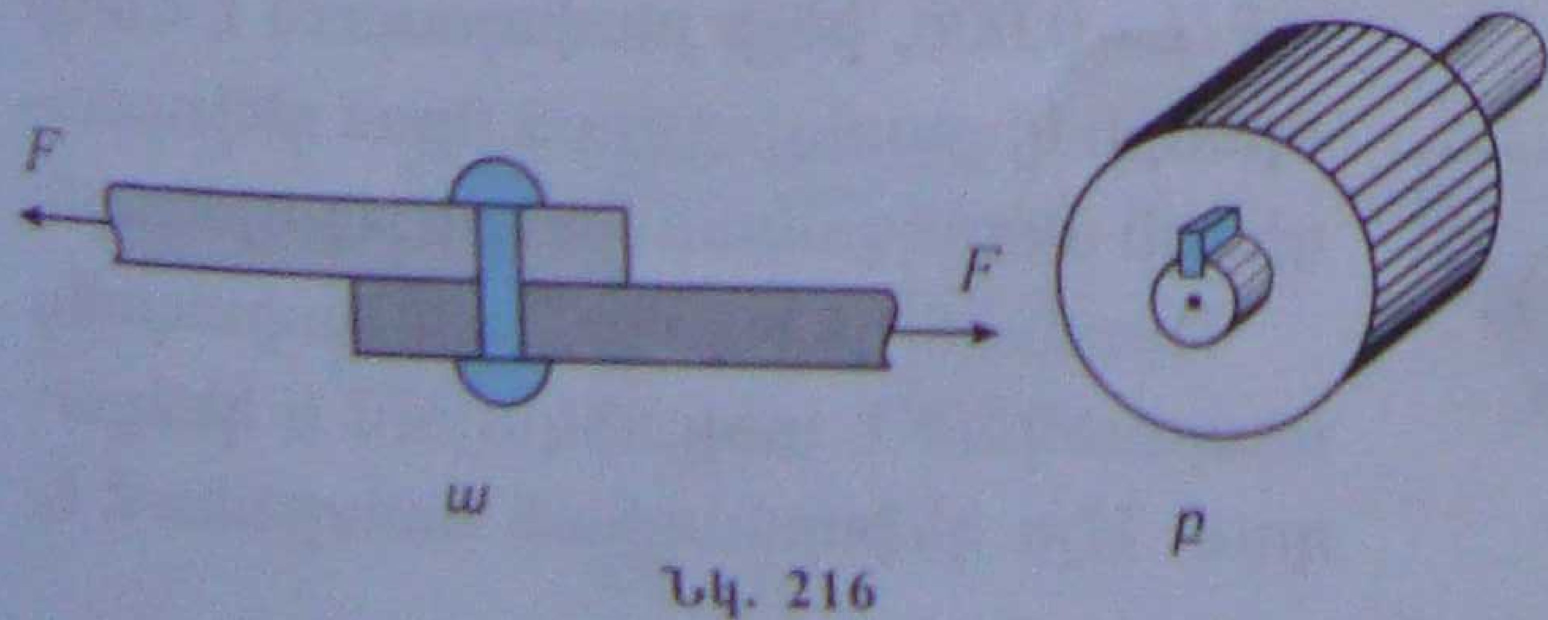
որտեղ τ մեծությունը կիրառված ուժին զուգահեռ հարթության միավոր մակերեսի վրա ազդող ուժն է՝

$$\tau = \frac{F}{S}\,, \qquad (18.12)$$

S-ը՝ այդ հարթության մակերեսը, իսկ *G* հաստատունը բնութագրում է նյութը և կոչվում է ***սահքի գործակից***: Աղյուսակ 4-ում բերված են որոշ նյութերի համար սահքի գործակցի արժեքները: Հարկ է նշել, որ սահքի դեֆորմացիայի դեպքում ΔL երկարացումը միշտ



Նկ. 215



Նկ. 216

Աղյուսակ 4

Նյութ	E, 10^9 Ն/մ²	G, 10^9 Ն/մ²
Թուջ	100	40
Պողպատ	200	80
Ալյումին	70	25
Մարմար	50	–
Գրանիտ	45	–
Նայլոն	5	–
Ոսկոր (վերջույթներ)	15	80

Սահքի դեֆորմացիա*: Երբ նկ. 215,*ա*-ում պատկերված ուղղանկյունանիստի հորիզոնական մակերևույթների վրա կիրառենք մոդուլով իրար հավասար և հակառակ ուղղված ուժեր (օրինակ՝ սեղանին հպվող մակերևույթը ամրացնենք, իսկ վերինին վրա ազդենք F ուժով), ապա այն կընդունի նկ. 215,*բ*-ում պատկերված տեսքը: Այս ուժերի ազդեցությամբ մարմնի շերտերն իրար նկատմամբ սահում, տեղաշարժվում են ուժերի ազդեցության գծին զուգահեռ ուղղությամբ, որի հետևանքով ուղղանկյունանիստը վերածվում է թեք զուգահեռանիստի: ***Այն դեֆորմացիան, որի դեպքում մարմնի շերտերը տեղաշարժվում են՝ մնալով միմյանց զուգահեռ, կոչվում է սահքի դեֆորմացիա:***

Սահքի դեֆորմացիայի հետևանքով մարմնի ծավալը չի փոփոխվում, քանի որ զուգահեռանիստի հիմքի մակերեսը և բարձրությունը մնում են անփոփոխ:

Սահքի դեֆորմացիան բնութագրվում է α սահքի անկյունով, որը որոշվում է ΔL տեղաշարժի և L_0 բարձրության հարաբերությամբ՝

$$tg\,\alpha = \frac{\Delta L}{L_0}: \qquad (18.10)$$

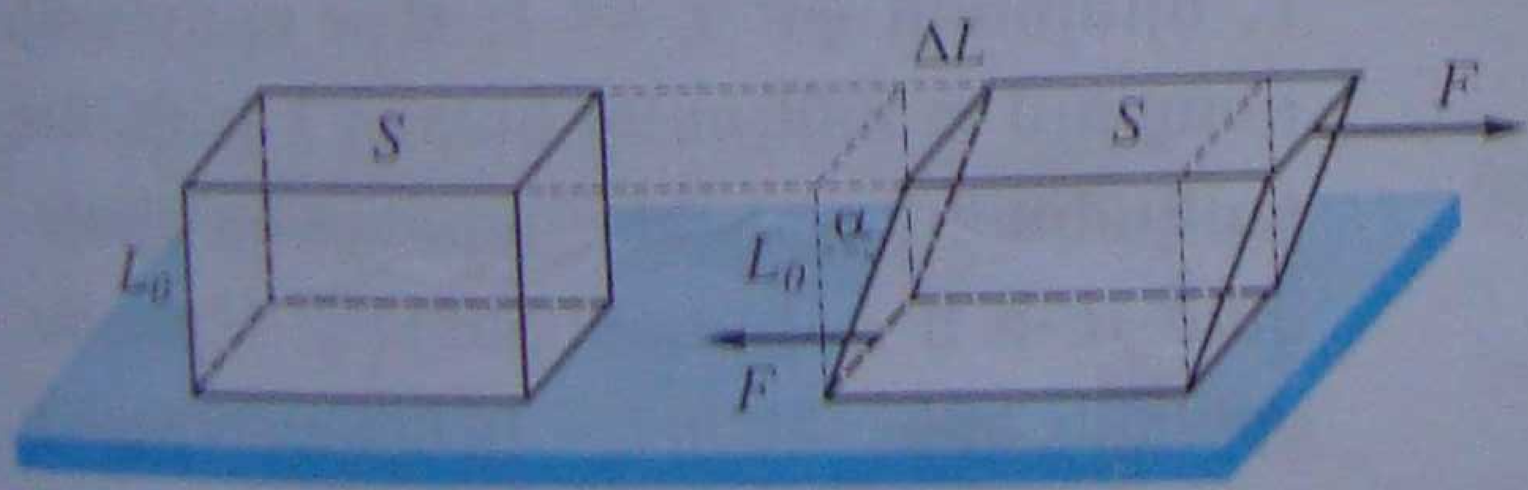
Փոքր՝ $\Delta L / L_0 << 1$ դեֆորմացիաների դեպքում սահքի անկյան համար փորձից ստացվում է հետևյալ բանաձևը՝

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\tau}{G}, \qquad (18.11)$$

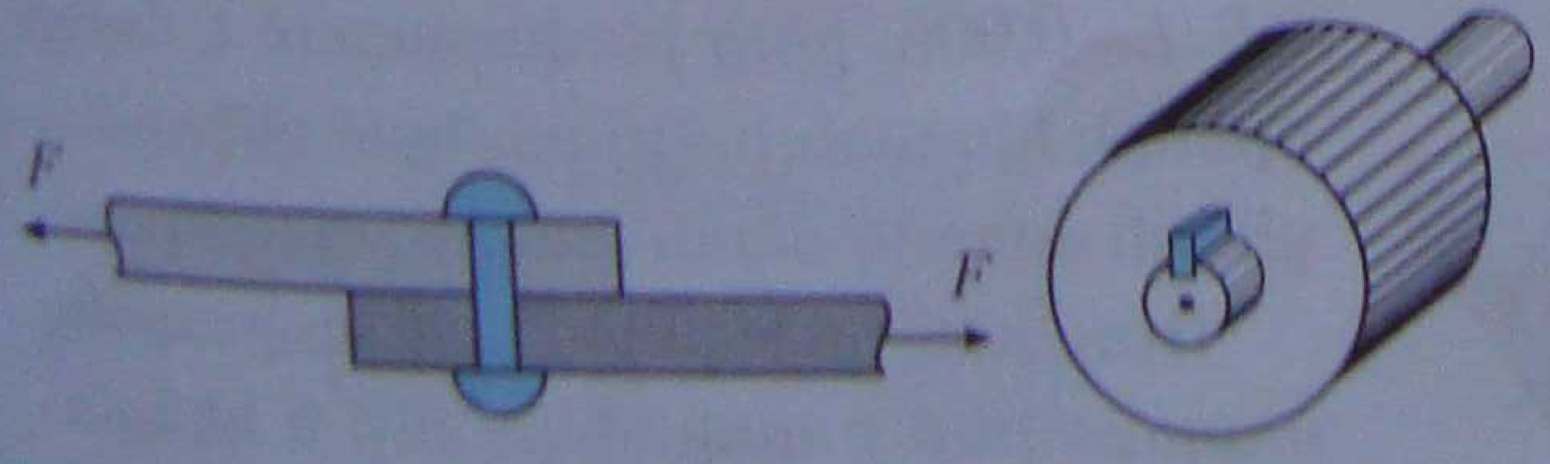
որտեղ τ մեծությունը կիրառված ուժին զուգահեռ հարթության միավոր մակերեսի վրա ազդող ուժն է՝

$$\tau = \frac{F}{S}, \qquad (18.12)$$

S-ը՝ այդ հարթության մակերեսն, իսկ G հաստատունը բնութագրում է նյութը և կոչվում է ***սահքի գործակից***: Աղյուսակ 4-ում բերված են որոշ նյութերի համար սահքի գործակցի արժեքները: Հարկ է նշել, որ սահքի դեֆորմացիայի դեպքում ΔL երկարացումը միշտ



Նկ. 215



Նկ. 216

Աղյուսակ 4

Նյութ	E, 10^9 Ն/մ²	G, 10^9 Ն/մ²
Թուջ	100	40
Պողպատ	200	80
Ալյումին	70	25
Մարմար	50	–
Գրանիտ	45	–
Նայլոն	5	–
Ոսկոր (վերջույթներ)	15	80

ուղղահայաց է L_0-ին: ***(18.11) բանաձևն արտահայտում է Հուկի օրենքը սահքի դեֆորմացիայի դեպքում***:

Սահքի դեֆորմացիայի շատ տարածված ձև է: Այն տեղի ունի բոլոր շփվող մարմիններում, ինչպես դաղարի, այնպես էլ սահքի շփման դեպքում: Սահքի են ենթարկվում միացնող ձողերը, գամերը (նկ. 216,*ա*), երիթները (նկ. 216,*բ*): Սահքի կարևոր դեպք է միջավայրի դեֆորմացիան, երբ նրանում տարածվում է լայնական ալիք:

Սահքի դեֆորմացիայի կարող են ենթարկվել միմիայն պինդ մարմինները:

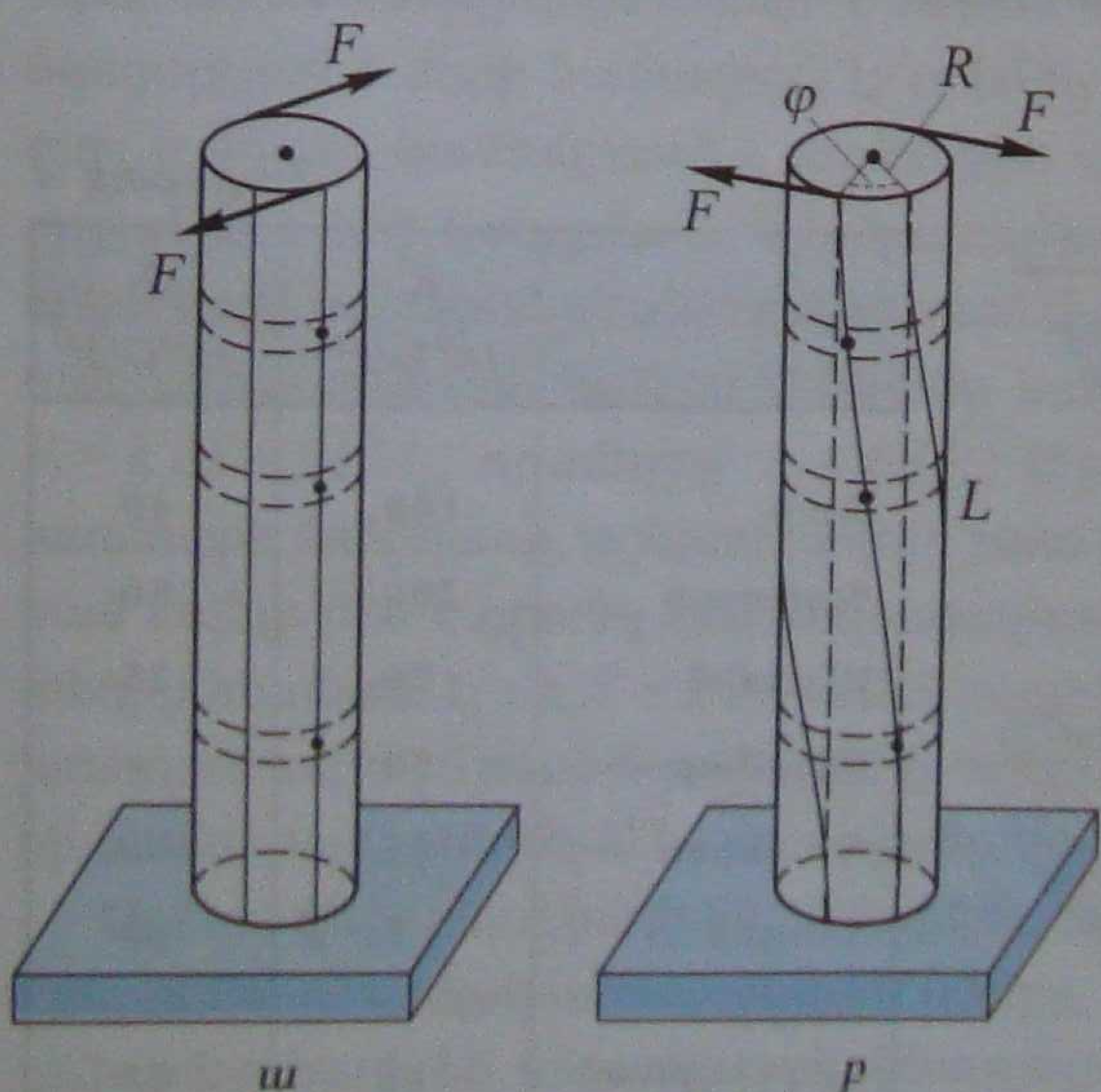
***Ոլորման դեֆորմացիա**:** Եթե շրջանային հատույթով, L երկարությամբ ձողի մի ծայրն անշարժ ամրացնենք, իսկ մյուս ծայրին կիրառենք պտտող մոմենտ (նկ. 217, *ա*), ապա ձողում կառաջանա ոլորման դեֆորմացիա, որը կարելի է հանգեցնել սահքի դեֆորմացիայի: Իրոք, եթե մտովի ձողը բաժանենք նրա առանցքին ուղղահայաց, շատ բարակ շերտերի, ապա ոլորման դեֆորմացիան կներկայացնի այդ շերտ-սկավառակների պտույտը՝ սահքը միմյանց նկատմամբ, ինչի հետևանքով ձողի ուղիղ ծնիչները վերածվում են գալարագծերի (նկ. 217, *բ*):

Ոլորման դեֆորմացիան բնութագրվում է φ ոլորման անկյունով (նկ. 217,*բ*): Եթե ձողի վերին ծայրին կիրառված պտտող մոմենտը նշանակենք M -ով, ապա Հուկի օրենքը ոլորման դեֆորմացիայի համար կարող ենք գրել հետևյալ ձևով՝

$$\varphi = \frac{1}{\gamma} M , \qquad (18.13)$$

որտեղ γ -ն կոչվում է ***ոլորման գործակից***: Այն կախված է ձողի նյութի տեսակից, ձողի L երկարությունից և R շառավղից, ընդ որում՝ ուղիղ համեմատական է R-ի չորրորդ աստիճանին ($\gamma \sim R^4/L$): Հենց այսպիսի ուժեղ կախման փաստն են օգտագործում ֆիզիկական սարքերում, որտեղ անհրաժեշտ է ստանալ ոլորման հնարավոր մեծ անկյուն չափազանց փոքր պտտող մոմենտների դեպքում (օրինակ՝ տիեզերական ձգողության հաստատունի որոշման Կավենդիշի փորձում):

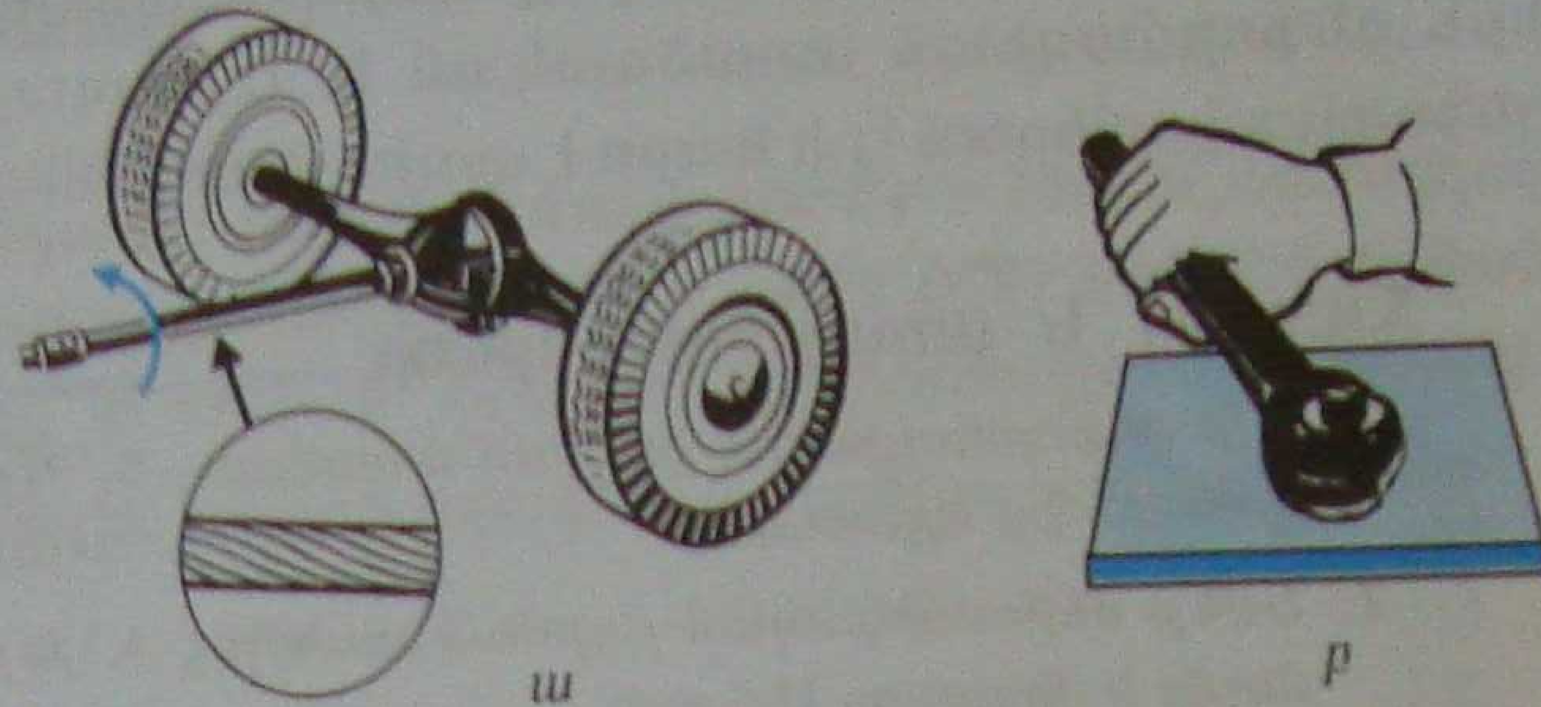
φR արտադրյալն այն աղեղի երկարությունն է, որով պտտվել է ձողի վերին հատույթը, ուստի, որպեսզի ոլորման դեֆորմացիան լինի առաձգական, անհրաժեշտ է, որպեսզի $\varphi R/L << 1$: Այս պայմանի դեպքում φ անկյունը կարող է ընդունել բավականաչափ մեծ արժեքներ՝ կախված R -ի և L -ի արժեքներից: Այսպես, օրինակ, եթե ունենք $L \sim 1$մ երկարությամբ և $R \approx 10^{-3}$ մ շառավղով լար, ապա մինչև իսկ $\varphi = 2\pi$ անկյունով պտույտի դեպքում $\varphi R/L \approx 0{,}006$, ինչը բավարարում է Հուկի օրենքի կիրառելիության (կամ դեֆորմացիայի առաձգական լինելու) պայմանին:



Նկ. 217

Ոլորման դեֆորմացիան չափազանց տարածված է տեխնիկայում և կենցաղում: Այս դեֆորմացիան առաջանում է,

օրինակ, շարժիչից պտույտը մեքենայի «տանող» անիվներին հաղորդող, այսպես կոչված, կարդանային լիսեռում (նկ. 218,ա), ղանային պտուտակելիս, գայլիկոններում: Ոլորման վիճակում է գտնվում մանեկադարձը, երբ պտտող մոմենտը ձեռքից հաղորդվում է մանեկին (նկ. 218,բ):



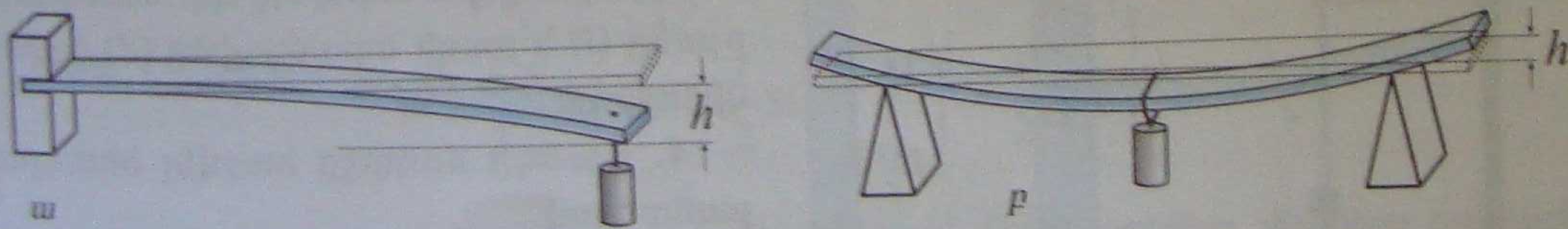
Նկ. 218

Ծռման դեֆորմացիա: Եթե քանոնի մի ծայրն ամրացնենք, իսկ մյուս՝ ազատ ծայրից կախենք որևէ ծանրոց, ապա քանոնի ազատ ծայրը կկախվի որոշ չափով (նկ. 219,ա): Եթե քանոնը դնենք հենարանների վրա, իսկ նրա կենտրոնում դնենք ծանրոցը, ապա այն կիջնի ներքև՝ դեֆորմացնելով քանոնը (նկ. 219,բ): Նշված փորձերում մարմինը ենթարկվում է ծռման դեֆորմացիայի:

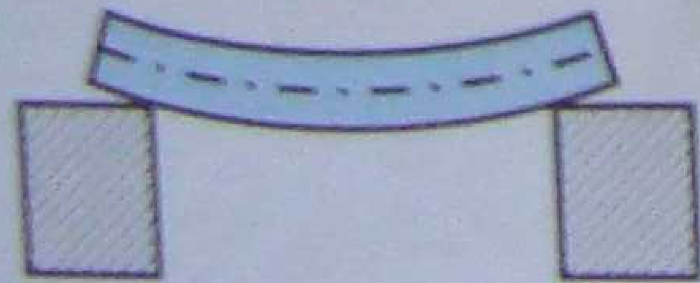
Ծռման դեֆորմացիայի չափ է ծառայում ձողի ծայրի կամ նրա կենտրոնի տեղաշարժի չափը՝ h ***ծռման սլաքը***: Փորձը ցույց է տալիս, որ փոքր դեֆորմացիաների դեպքում նորից տեղի ունի Հուկի օրենքը՝ ***ծռման սլաքը համեմատական է բեռնավորմանը***՝ $h \sim |\vec{F}|$:

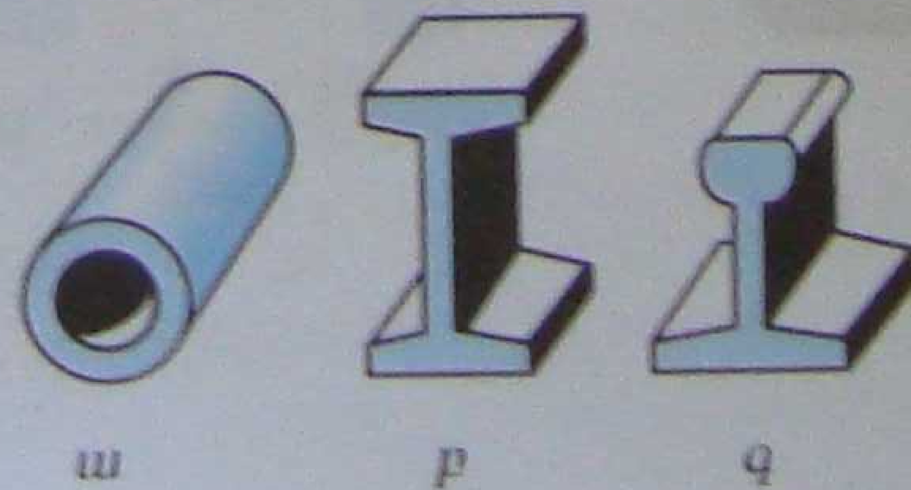
Ծռման դեֆորմացիան սեղմման և ձգման դեֆորմացիաների համատեղ դրսևորումն է: Իրոք, ծռման դեպքում ձողի ուռուցիկ մասը երկարում է, գոգավոր մասը՝ սեղմվում, իսկ միջին մասը (այսպես կոչված, «չեզոք շերտը») գործնականորեն չի դեֆորմացվում (նկ. 220): Հետևաբար՝ ձողի չեզոք շերտի առկայությունը փաստորեն չի խոչընդոտում դեֆորմացմանը, ուստի այն կարելի է հեռացնել՝ չվատացնելով ձողի առաձգական հատկությունները, սակայն զգալիորեն թեթևացնելով այն: Այս հանգամանքը լայնորեն կիրառվում է տեխնիկայում, որտեղ հոծ ձողի և չորսուների հետ մեկտեղ օգտագործվում են սնամեջ խողովակներ, տավրային և երկտավրային հեծաններ (նկ. 221):

Բնության մեջ, էվոլյուցիայի հետևանքով մարդու, կենդանիների, թռչունների ոսկորներն ընդունել են խողովակի ձև: Նման կառուցվածք ունեն նաև բազմաթիվ բույսերի, օրինակ՝ եղեգի, հացազգիների, բամբուկի ցողունները:



Նկ. 219


Նկ. 220



Նկ. 221

Այսպիսով, յանկացած տիպի դեֆորմացիայի դեպքում տեղի ունի Հուկի օրենքը, եթե դեֆորմացիան առաձգական է: Այս պայմանը խախտվելիս բոլոր տիպի դեֆորմացիաներում էլ ի հայտ է գալիս մարմինների պլաստիկությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր դեֆորմացիան է կոչվում առաձգական և ո՞րը՝ պլաստիկ:*
2. *Տվե՛ք մեխանիկական լարման սահմանումը և միավորը ՄՀ-ում:*
3. *Ի՞նչ ձևով է ձողի հարաբերական երկարացումը կախված ձողի նյութի տեսակից:*
4. *Գրե՛ք ձողի k կոշտության արտահայտությունը ձողի բնութագրերի (S, l_0, E) միջոցով և այն պարզաբանե՛ք մոլեկուլային-կինետիկ տեսության տեսանկյունից:*
5. *Գրե՛ք Հուկի օրենքը սահքի անկյան փոքր ($\alpha << 1$) արժեքների դեպքում:*
6. *Գրե՛ք Հուկի օրենքը ոլորման դեֆորմացիայի համար:*
7. *Ի՞նչ մեծությամբ է բնութագրվում ծռման դեֆորմացիան:*
8. *Ինչու՞ շատ հաճախ ծռման դեֆորմացիայի ենթարկվող դետալները սնամեջ են:*

§ 89. Լաբորատոր աշխատանք N10. Ռետինի առաձգականության գործակցի (Յունգի մոդուլի) որոշումը

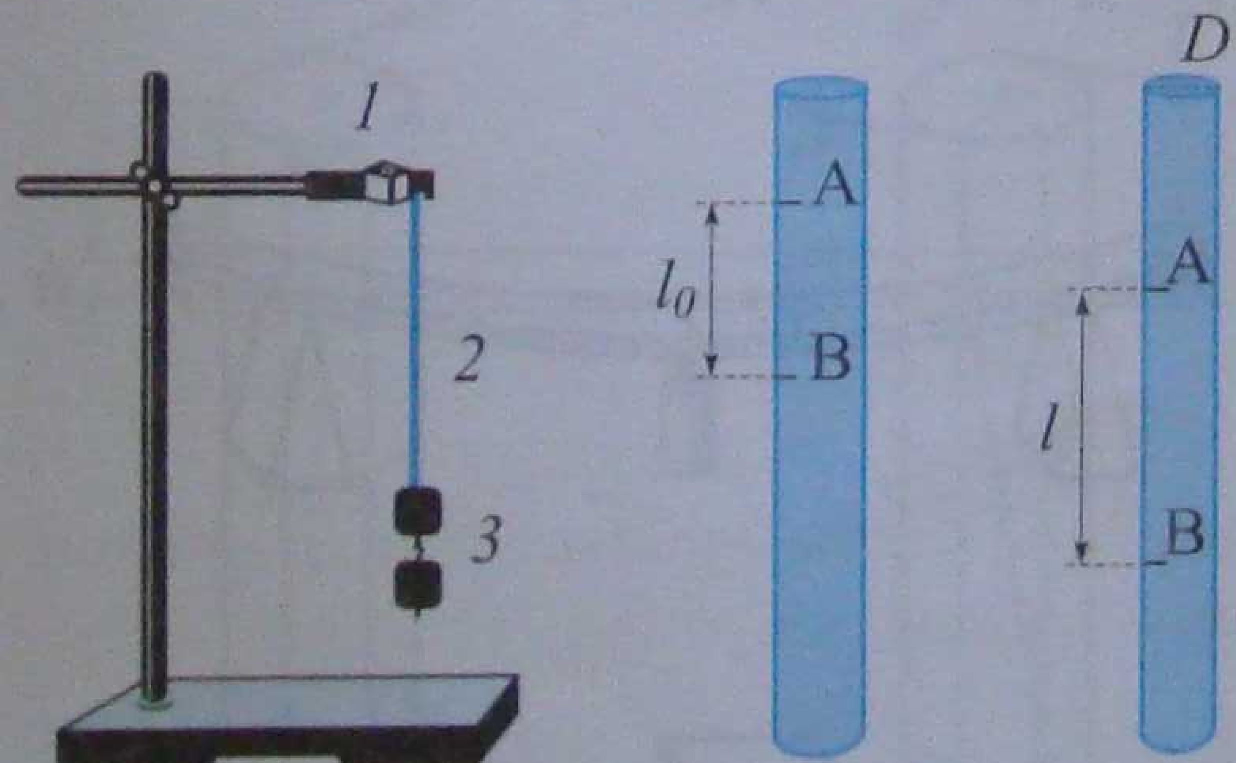
Աշխատանքի նպատակը. Փորձով որոշել ռետինի առաձգականության գործակիցը:

Չափամիջոցներ. 1. ձողակարկին (150 մմ չափման սահմանով և 0,1 մմ բաժանման արժեքով), 2. միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. ամրակալան՝ կցորդիչով և թաթով, 2. ռետինե քուղ, 3. 100 կամ 50 գրամանոց բեռների հավաքածու:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ամրակալանին (1) ամրացնել ռետինե (2) քուղը:
2. Ռետինե քուղի վրա գծել A և B նիշերը և չափել այդ կետերի (նիշերի) հեռավորությունը չձգված քուղի համար (l_0):



3. Կշռել (3) ծանրոցները (F) և կախել ռետինե քուղից: Չափել նիշերի հեռավորությունը (l) և քուղի տրամագիծը (d) ձգված վիճակում:

4. Յունգի մոդուլը հաշվել հետևյալ բանաձևով՝

$$E = \frac{Fl_0}{S(l-l_0)} = \frac{4Fl_0}{\pi d^2 (l-l_0)}:$$

***1.** R = 100,125 սմ շառավղով պողպատե ծողի վրա հագցված է r = 100 սմ շառավղով պղնձե օղակ, որի լայնական հատույթի մակերեսը՝ $S = 4$ մմ^2: Ի՞նչ ուժով է ձգված օղակը, եթե պղնձի Յունգի մոդուլը՝ $E = 1{,}2 \cdot 10^{11}$ Ն/մ: Ձողի դեֆորմացիան անտեսել:*

Լուծում: Պողպատե ձողին հագցնելիս պղնձե օղակի բացարձակ երկարացումը՝

$$\Delta l = 2\pi(R-r):$$

Համաձայն Հուկի օրենքի՝

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{2\pi(R-r)}{2\pi r} = \frac{1}{E}\sigma = \frac{1}{E}\cdot\frac{F}{S},$$

որտեղ F-ն օղակը ձգող ուժն է: Վերը նշված բանաձևից կստանանք՝

$$F = \frac{S(R-r)E}{r} = 600 \text{ Ն}:$$

***2.** Ձողի հարաբերական երկարացումն ε է: Գտնել ձողի միավոր ծավալի առաձգական դեֆորմացիայի էներգիան, եթե նյութի Յունգի մոդուլը E է: Ստացված մեծությունն արտահայտել σ լարման միջոցով:*

Լուծում: Δl չափով դեֆորմացված ձողի էներգիան՝

$$W = \frac{1}{2}k(\Delta l)^2,$$

որտեղ ձողի k կոշտությունը տրվում է (18.9) բանաձևով՝

$$k = \frac{S}{l_0}E:$$

Նշված արտահայտություններից՝

$$W = \frac{1}{2}\frac{S}{l_0}E(\Delta l)^2 = \frac{1}{2}Sl_0E\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)^2 = \frac{1}{2}VE\varepsilon^2,$$

որտեղ V-ն ձողի ծավալն է, ուստի, նկատի առնելով Հուկի օրենքը, միավոր ծավալի առաձգական դեֆորմացիայի էներգիայի համար կստանանք՝

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2}E\varepsilon^2 = \frac{\sigma^2}{2E}:$$

Խնդիրներ

1. *3 մ երկարությամբ և 10^{-6}մ² հատույթի մակերեսով պողպատե լարի ծայրերին կիրառված են ձգող ուժեր, յուրաքանչյուրը՝ 200 Ն: Գտնել լարի բացարձակ երկարացումը, եթե պողպատի առաձգականության գործակիցը $2 \cdot 10^{11}$ Պա է:*
2. *Մոդուլով հավասար ի՞նչ ուժեր պետք է կիրառել 4,4մ երկարություն և $5 \cdot 10^{-7}$մ² հատույթի մակերես ունեցող պողպատե լարի ծայրերին, որպեսզի այն երկարի 2 մմ-ով:*
3. *Քանի՞ անգամ կփոքրանա մետաղալարի բացարձակ երկարացումը, եթե այն փոխարինվի նույն նյութից պատրաստված, երկու անգամ ավելի երկար և երկու անգամ ավելի մեծ տրամագիծ ունեցող մետաղալարով: Բեռնվածքը երկու դեպքում էլ նույնն է:*
4. *10մ երկարություն և 8.10^{-7}մ² հատույթի մակերես ունեցող լարը 100 Ն ուժի ազդեցությամբ երկարել է 1 սմ-ով: Որոշել լարի նյութի առաձգականության գործակիցը:*
5. *Ի՞նչ հատույթի մակերես պետք է ունենա 5մ երկարությամբ պղնձե ձողը, որպեսզի 480Ն բեռնվածքի դեպքում նրա երկարացումը չգերազանցի 1 մմ: Կդիմանա՞ արդյոք ձողն այդ լարմանը, եթե այն խզվում է $2,2 \cdot 10^{8}$ Պա արժեքի դեպքում:*
6. *Մի ծայրով ամրացված 2 մմ տրամագծով մետաղալարից կախված է 10 կգ զանգվածով բեռ: Գտնել մետաղալարի մեխանիկական լարումը:*
7. *Երկու մետաղալար, որոնց տրամագծերը տարբերվում են 3 անգամ, ենթարկվում են հավասար ձգող ուժերի ազդեցության: Համեմատել նրանցում առաջացող լարումները:*
8. *2մ երկարությամբ ալյումինե լարի ձգման ժամանակ նրանում առաջացավ $3,5 \cdot 10^{7}$Պա մեխանիկական լարում: Գտնել լարի հարաբերական և բացարձակ երկարացումները:*

ԳԼՈՒԽ 18-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Պինդ մարմինները լինում են բյուրեղային և ամորֆ: Բյուրեղներն ունեն կանոնավոր ներքին կառուցվածք: Բյուրեղները բաժանվում են միաբյուրեղների և բազմաբյուրեղների: Միաբյուրեղներին բնորոշ է ֆիզիկական հատկությունների անիզոտրոպությունը, իսկ բազմաբյուրեղները, ինչպես և ամորֆ պինդ մարմինները, իզոտրոպ են: Բյուրեղները հալվում և պնդանում են խիստ որոշակի ջերմաստիճանում:
2. Ամորֆ մարմինները չունեն կանոնավոր ներքին կառուցվածք: Ցածր ջերմաստիճաններում և արտաքին կարճատև ազդեցությունների դեպքում ամորֆ մարմիններն իրենց հատկություններով մոտ են բյուրեղներին, իսկ բարձր ջերմաստիճաններում և ոչ կարճատև ազդեցությունների դեպքում՝ հեղուկներին:
3. Հեղուկ բյուրեղներում մոլեկուլներն ունեն որոշակի ուղղորդվածություն, ուստի դրանք օժտված են անիզոտրոպությամբ: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս հեղուկ բյուրեղը վերածվում է հեղուկի, իսկ ցածրացնելիս՝ պինդ բյուրեղային մարմնի:
4. Փոքր դեֆորմացիաների դեպքում հարաբերական դեֆորմացիան համեմատական է լարմանը (Հուկի օրենք):

ՉԱՓՈՒՄՆԵՐ ՉԱՓՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Ֆիզիկական մեծությունների չափումը: Լաբորատոր աշխատանքների կատարման հիմնական տարրերից է ֆիզիկական մեծությունների չափումը: Չափել որևէ ֆիզիկական մեծություն՝ նշանակում է այն համեմատել համասեռ, որպես միավոր ընտրված մեծության հետ:

1960 թ. ընդունված միավորների միջազգային համակարգը (ՄՀ) կազմված է 7 հիմնական միավորներից՝ մետր, կիլոգրամ, վայրկյան, ամպեր, կելվին, կանդելա, մոլ, 2 լրացուցիչ միավորներից՝ ռադիան, ստերադիան, և ածանցյալ միավորներից՝ մ/վ, մ², հերց, նյուտոն և այլն:

Չափումները կարող են լինել ուղղակի կամ անուղղակի: Ուղղակի չափման ժամանակ չափիչ սարքի օգնությամբ որոշվում է չափվող մեծությունը, իսկ անուղղակի չափման ժամանակ չափվող մեծությունն արտահայտվում է այլ ուղղակիորեն չափվող մեծությունների միջոցով: Օրինակ՝ պինդ մարմնի խտությունը որոշելու համար չափվում է նրա ծավալը և զանգվածը, որոնց միջոցով $\rho = m/V$ արտահայտությամբ որոշվում է խտության արժեքը:

Դպրոցական լաբորատորիայում ուղղակիորեն կարելի է չափել երկարությունը, զանգվածը, հոսանքի ուժը, ջերմաստիճանը և այլն: Անուղղակիորեն կարելի է չափել նյութի տեսակարար դիմադրությունը, իմպուլսը, էներգիան, գազի կոնցենտրացիան, կոնդենսատորի ունակությունը և այլն:

Չափումները կատարվում են չափիչ սարքերի միջոցով: Չափիչ սարքի հիմնական բնութագրերն են՝

- չափումների միջակայքը, չափման սահմանը,
- մեկ բաժանման արժեքը,
- բացարձակ գործիքային սխալը:

Օրինակ՝ հոսանքի ուժի չափման սարքերը՝ ամպերմետրերը, ըստ չափման սահմանի և բաժանման արժեքի, անվանվում են նաև միլիամպերմետր, միկրոամպերմետր և այլն:

Չափիչ սարք	Չափման սահմանը	Բաժանման արժեքը	Բացարձակ չափումների սխալը
Միկրոմետր	25 մմ	0,01 մմ	±5 մկմ
Լաբորատոր կշեռք	200 գ	0,2 գ	±0,1 գ
Վայրկենաչափ	1 վ ÷ 30 ր	0,2 վ	±1 վ՝ 30 ր-ում
Սնդիկային ջերմաչափ	0°C ÷ 100°C	1°C	±1°C
Ամպերմետր ПМ70	5 Ա	0,1 Ա	0,075 Ա

Ֆիզիկական մեծությունների չափումը ֆիզիկական երևույթների ուսումնասիրման փորձարարական եղանակի հիմնական խնդիրներից մեկն է: Փորձարարական աշխատանքի հիմնական տարրերից է ստացված տվյալների վերլուծությունը՝ չափումների արդյունքների մշակումը:

Չափման սխալները: Ինչպես ելակետային տվյալները, այնպես էլ ֆիզիկական մեծության չափումների արդյունքը բնութագրվում են սխալներով: «Սխալը» դիտարկվող կամ հաշվարկված մեծության և իրական մեծության տարբերությունն է:

Ուղղակի չափման ժամանակ չափվող x մեծությունը գրառվում է $x = x_0 \pm \Delta x$ ձևով, որտեղ x_0-ն չափման ժամանակ չափիչ սարքի ցուցմունքն է, բաժանումների գծերից ամենամոտ արժեքը: Δx -ը 1 բաժանման արժեքն է: Օրինակ՝ նկարում պատկերված դեպքերում՝



$I_0 = 5$Ա, $\Delta I = 1$Ա



$I_0 = 4{,}8$Ա, $\Delta I = 0{,}2$Ա

Ուղղակի չափման մի քանի չափումների արդյունքների մշակման համար $x_1 \pm \Delta x_1$, $x_2 \pm \Delta x_2$, ..., $x_n \pm \Delta x_n$ արժեքներով որոշվում է չափվող մեծությունը՝ որպես այդ մեծությունների թվաբանական միջին.

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}, \qquad \Delta x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n}{n}:$$

A մեծության չափման հարաբերական սխալը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_0}:$$

Որոշենք անուղղակի չափման սխալը: Եթե անուղղակիորեն չափվող c ֆիզիկական մեծությունը տրվում է a և b ֆիզիկական մեծությունների արտադրյալի տեսքով, ապա՝

$$c = ab = (a_0 \pm \Delta a)(b_0 \pm \Delta b) \approx a_0 b_0 \pm (a_0 \Delta b + b_0 \Delta a), \quad (1)$$

$$\frac{\Delta c}{c_0} = \pm\left(\frac{\Delta a}{a_0} + \frac{\Delta b}{b_0}\right), \quad (2)$$

որտեղ $\Delta c = c - c_0 = c - a_0 b_0 = a_0 \Delta b + b_0 \Delta a$ մեծությունը c մեծության բացարձակ սխալն է, իսկ $\Delta c / c_0$, $\Delta a / a_0$, $\Delta b / b_0$ մեծությունները համապատասխան մեծությունների հարաբերական սխալներն են: (2) արտահայտության համաձայն՝ արտադրյալի հարաբերական սխալը հավասար է արտադրիչների հարաբերական սխալների գումարին: Նույնը ստացվում է, երբ անուղղակիորեն չափվող ֆիզիկական մեծությունը տրվում է 2 ֆիզիկական մեծությունների հարաբերության տեսքով:

Եթե ֆիզիկական մեծությունը տրվում է

$$c = \frac{a}{b^2}$$

բանաձևով, ապա այդ մեծության հարաբերական սխալը որոշվում է

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta a}{a} + 2\frac{\Delta b}{b}$$

բանաձևով:

Որպես օրինակ որոշենք ազատ անկման արագացման չափման բացարձակ և հարաբերական սխալները: Ներկայացնենք l երկարությամբ ճոճանակի 100 տատանումների տևողության, ճոճանակի երկարության և տատանումների պարբերության արժեքները՝

$$t = (206 \pm 2) \text{ վ}, \quad l = (105{,}3 \pm 0{,}3) \text{ սմ}, \quad T = \frac{206 \pm 2}{100} \text{ վ} = (2{,}06 \pm 0{,}02) \text{ վ}:$$

Ճոճանակի երկարության չափման հարաբերական սխալը կազմել է $\Delta l / l_0 = 2{,}85 \cdot 10^{-3}$, իսկ տատանման պարբերության հարաբերական սխալը՝ $\Delta T / T_0 = 4{,}85 \cdot 10^{-3}$:

$$g_0 = \frac{4\pi^2 l_0}{T_0^2} = 9{,}796 \text{ մ/վ}^2, \quad \frac{\Delta g}{g_0} = \frac{\Delta l}{l_0} + 2\frac{\Delta T}{T_0} = 0{,}123 \text{ մ/վ}^2,$$

$$g = (9{,}796 \pm 0{,}123) \text{ մ/վ}^2:$$

Այսպիսով, ազատ անկման արագացման արժեքը գտնվում է

$$9{,}673 \text{ մ/վ}^2 < g < 9{,}919 \text{ մ/վ}^2$$

միջակայքում:

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐ

Գլուխ 1. 1. 300 մ: **2.** 3: **3.** 15,7 մ; 14,1 մ: **4.** 1,57: **5.** Հետագիծն ուղիղ գիծ է:
6. $\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}$:

Գլուխ 2. 1. 32 մ/վ: **2.** $x = x_0 + vt\cos\alpha$; $y = y_0 + vt\sin\alpha$: **3.** 144 վ: **4.** 11 կմ/ժ; 1 կմ/ժ:
5. 212,5 կմ/ժ: **6.** 36 օր: **8.** 21,3 մ/վ:

Գլուխ 3. 1. 54,5 կմ/ժ: **2.** 5 կմ/ժ: **3.** $(v_1+v_2+\cdots+v_n)/n$: **4.** 10 մ/վ: **5.** 50 վ; 40 մ/վ: **6.** 20 վ:
7. 80 վ: **8.** −2 մ/վ^2: **9.** 1125 մ: **10.** Սկզբնական դիրքից 540 մ դեպի հարավ, 1665 մ:
11. 2,02 վ, 15,1 մ: **12.** 34,7 մ: **13.** 29,4 մ/վ, 44,1 մ: **14.** $y = 25 + 20t - 4{,}9t^2$; 5,1 վ:

Գլուխ 4. 2. 0,0001 ռադ/վ; 0,0017 ռադ/վ; 0,105 ռադ/վ: **3.** 365: **4.** 1,57 ռադ/վ; 7,85 մ/վ:
5. ≈465 մ/վ; 0,03 մ/վ^2: **6.** 0,0027 մ/վ^2: **7.** 29,9 կմ/վ: **8.** 78,5 մ; 7,85 մ/վ: **9.** 1 մ:
10. 7576 մ: **11.** 24 մ: **12.** 41,6 մ/վ: **13.** 2,76 մ:

Գլուխ 5. 1. 6,6 մ/վ: **2.** 0,25 մ/վ^2; 0,20 մ/վ^2: **3.** 0,8 Ն: **4.** 0,15 մ/վ^2: **5.** 2,5 մ/վ: **6.** 0,125:
7. 1,25 մ/վ^2:

Գլուխ 6. 1. 49 Ն/մ: **2.** 0,08 մ: **3.** Կփոքրանա 4 անգամ: **5.** 2,25:
6. $9R$ (R-ը Երկրի շառավիղն է): **7.** ա) 1010 Ն; բ) 980 Ն; գ) 940 Ն; դ) 0:
8. 5,6 կմ/վ: **9.** 1,52 ժ: **10.** 2,2 մ/վ^2: **11.** 11,6 Ն:

Գլուխ 7. 1. 3332 Ն: **2.** 0,09 մ: **3.** Ձողի մեջտեղից 1,75 սմ-ով դեպի մեծ գունդը:
4. Ձողի մեջտեղից 3,64 սմ հեռավորության վրա: **5.** 2450 Ն, 1960 Ն:
6. Ձողի մեջտեղից 10 սմ-ով դեպի ծանր բեռը:
7. 20 սմ-ով դեպի մյուս ծայրը: **8.** $0.5\,htg\alpha$: **9.** 98 Ն: **10.** 0,075 մ: **11.** 1,5 կգ:

Գլուխ 8. 1. 345,7 Ջ: **2.** −4,9 Ջ: **3.** 200 Ջ: **4.** −0,6 ՄՋ: **5.** 11,9 կՋ: **6.** 0,08 մ: **7.** 0,096 Ջ:
8. 2 Ջ: **9.** $6{,}4\cdot10^3$ Ն/մ: **10.** 204 մ^3: **11.** 30 կՆ: **12.** 8160 Ջ: **13.** 1200 վ: **14.** 450 ՄՋ:
15. 40 Ն, դեպի կենտրոն, 0: **16.** 34 մ: **17.** 10 մ/վ: **18.** 864 Ջ: **19.** 40 Ջ: **20.** 600 Ջ:
21. 2,55 մ: **22.** $\sqrt{2gh}$: **23.** $\sqrt{v_0^2-2gh}$: **24.** 1,56 մ: **25.** 967,7 Վտ, 1032,7 Վտ: **26.** 60°:
27. Գ-նդի գագաթից 1 մ բարձրության վրա:

Գլուխ 9. 1. $2\cdot10^7$ կգ·մ/վ: **2.** 50 կգ·մ/վ: **3.** Չեն կտրվի: **4.** 6,4 մ/վ: **5.** 3 մ/վ: **6.** 39,6 կգ·մ/վ:
7. 0,83 մ-ով: **8.** 0,41 մ: **9.** $(v_0^2+2gl(1-\cos\alpha))/18g$:

Գլուխ 10. 1. 0,8 մ: **2.** 2 վ, 0,5 Հց, π վ$^{-1}$: **3.** 0,06 մ, 50 Հց, 0,02 վ: **4.** Մեծացավ 12 անգամ:
5. 24,6 Ջ, 73,8 Ջ: **6.** 0,15 Ջ, 0,05 Ջ: **7.** $T/8$, $3T/8$, $5T/8$, $7T/8$:

Գլուխ 11. 1. 4 վ: **2.** 7,25 մ: **3.** 2,4 մ/վ: **4.** 490 մ:

Գլուխ 12. 1. $1{,}806\cdot10^{24}$ (մոլեկուլ): **2.** ≈345 (ատոմ): **3.** $6{,}02\cdot10^{10}$ մ:
4. N_A/M; $N_A m/M$; $(N_A/M)\cdot\rho V$: **5.** $1{,}17\cdot10^{20}$ (ատոմ): **6.** $2\cdot10^{12}$: **7.** 7684: **8.** 75 մ^3:
9. $3{,}01\cdot10^6$ (մոլեկուլ): **10.** $1{,}1\cdot10^{44}$ (մոլեկուլ): **11.** Ալյումին:
12. 55,6 մոլ; $3{,}3\cdot10^{25}$ (մոլեկուլ):

Գլուխ 14. **1.** $7{,}5\cdot10^4$ Պա: **2.** $4\cdot10^4$ Պա: **3.** 0,6 մ: **4.** 49980 Պա: **5.** 1,01: **6.** −251°C: **7.** 1,5 $մ^3$: **8.** 2 (անգամ): **9.** −23°C: **10.** 60°C-ով: **11.** 137°C: **12.** 91°C: **13.** 0,028 կգ/մոլ: **14.** $3{,}01\cdot10^{22}$ (մոլեկուլ): **15.** 0,01 (մասը): **16.** 6 (անգամ): **17.** 16: **18.** $1{,}35\cdot10^{-23}$ Ջ/Կ: **19.** 0,53 $մ^3$:

Գլուխ 15. **1.** 196 Ջ-ով: **2.** Կփոքրանա 1,5 անգամ: **3.** $(3/2)\cdot nk_B TV$: **4.** 6 (անգամ): **5.** 100 Ջ: **6.** −1,5: **7.** −10°C: **8.** ≈ 46 մ: **9.** 5,66 կՋ: **10.** 420 Ջ/կգ: **11.** ≈ 0,42 կգ: **12.** 148,8 կՋ-ով: **13.** $\Delta Q = (m/M)R\Delta T$: **14.** $C_p/(\nu R)$: **15.** 1,6 կՋ: **16.** 350 Կ: **17.** 25%: **18.** 360 Կ: **19.** 16%-ով:

Գլուխ 16. **1.** 63,6 (անգամ): **2.** 8,3 մգ: **3.** 0,24 Պա: **4.** 0,065 $մ^3$: **5.** Ոչ. $p = 0{,}41\cdot10^5$ Պա $< 10^5$ Պա: **6.** Սենյակային ջերմաստիճանում (T ≈ 300 Կ) տրված ծավալով բալոնում տրված ճնշումը կստեղծվի մոտ 14 գ զանգվածով պրոպան գազի կողմից, հետևաբար՝ պրոպանի մեծ մասը (≈ 286 գ) գտնվում է հեղուկ վիճակում: **7.** 0,598 կգ/$մ^3$: **8.** ≈70%, 0,091 կգ/$մ^3$: **9.** 73,5%: **10.** 61%:

Գլուխ 17. **1.** ≈ 2841 վ: **2.** 6,1 սմ: **3.** 0,191 Ն/մ: **4.** ≈ 2,8 մմ սնդ.ս.: **5.** ≈ 0,56 մմ: **6.** Հովացման ընթացքում մակարդակը կբարձրանա: **7.** $\sigma = p_0(R_3^3 - R_1^3 - R_2^3)/4(R_1^2 + R_2^2 - R_3^2)$: **8.** $3{,}78\cdot10^{-3}$ Ջ: **9.** $2{,}3\cdot10^{-2}$ սմ: **10.** ≈ $3{,}6\cdot10^{-3}$ Ջ:

Գլուխ 18. **1.** 0,003 մ: **2.** 45,45 Ն: **3.** 2 (անգամ): **4.** $1{,}25\cdot10^{11}$ Պա: **5.** $2\cdot10^{-5}$ $մ^2$; կդիմանա: **6.** $3{,}12\cdot10^7$ Պա: **7.** $\sigma_2 : \sigma_1 = d_1^2 : d_2^2 = 9$ $(d_1/d_2 = 3)$: **8.** $5\cdot10^{-4}$; 10^{-3} մ:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱԼԲԵՐՏ ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ
ԱՐՏԱՎԱԶԴ ՄԱՄՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱ 9

Հրատ. խմբագիր՝ *Ս. Մախլյան*
Տեխն. խմբագիր՝ *Ռ. Ախիրյան*
Գեղ. խմբագիր՝ *Գ. Գյուլամիրյան*
Սրբագրիչ՝ *Ա. Գոնչեգուլյան*

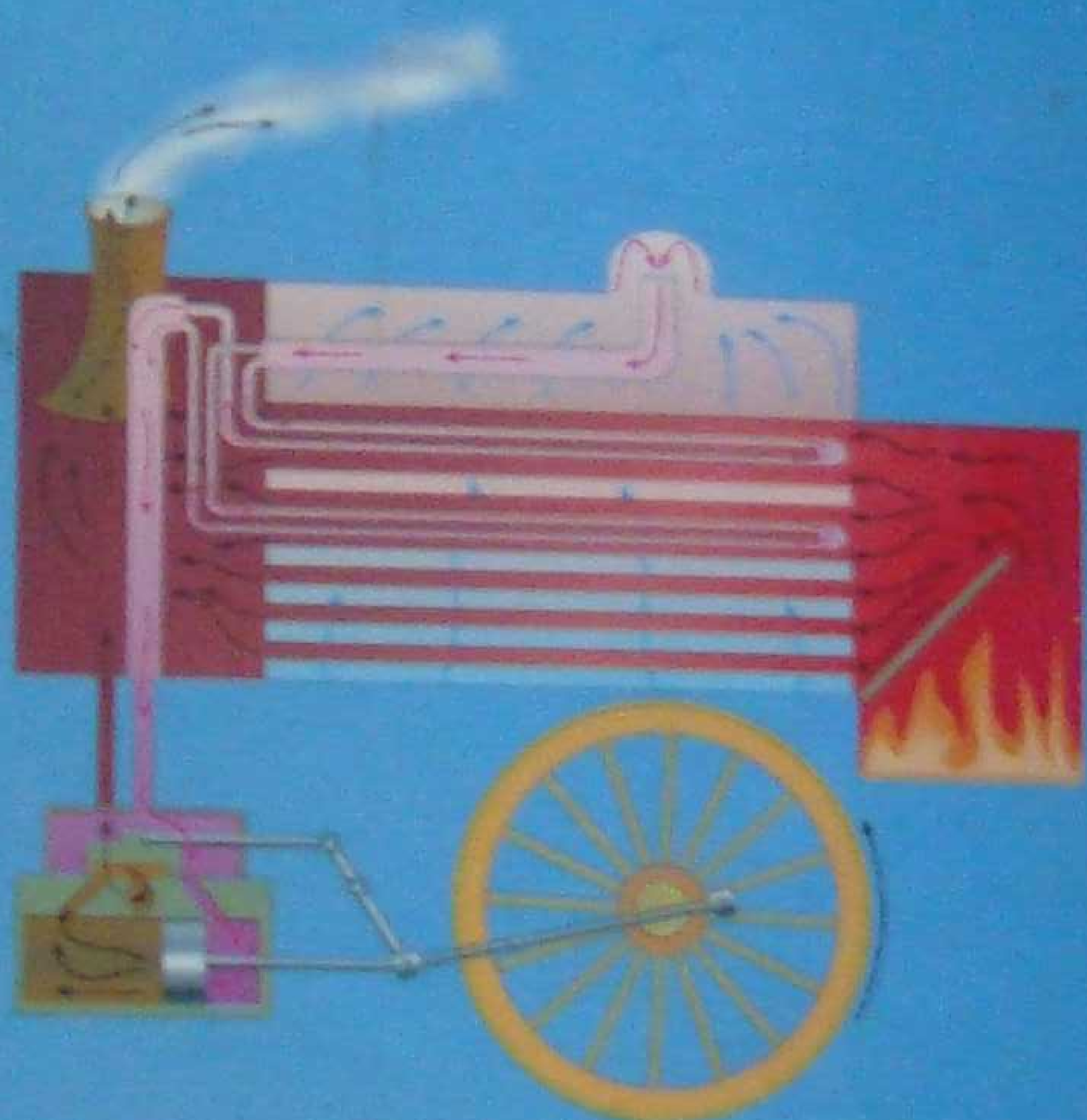
Գծանկարները՝ «ԴԱՐ» ՍՊԸ
Շապիկը՝ Արտակ Հարությունյանի

Չափսը՝ 70×100 1/16: Տպագր.՝ 19.0 մամ.:
Տպաքանակը՝ 21300:

«ԼՈՒՅՍ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ» ՓԲԸ
Երևան-9, Իսահակյան 28:

«ՀԱԿՈԲ ՄԵՂԱՊԱՐՏ ՏՊԱԳՐԱՏՈՒՆ» ՓԲԸ
Երևան-9, Տերյան 91:

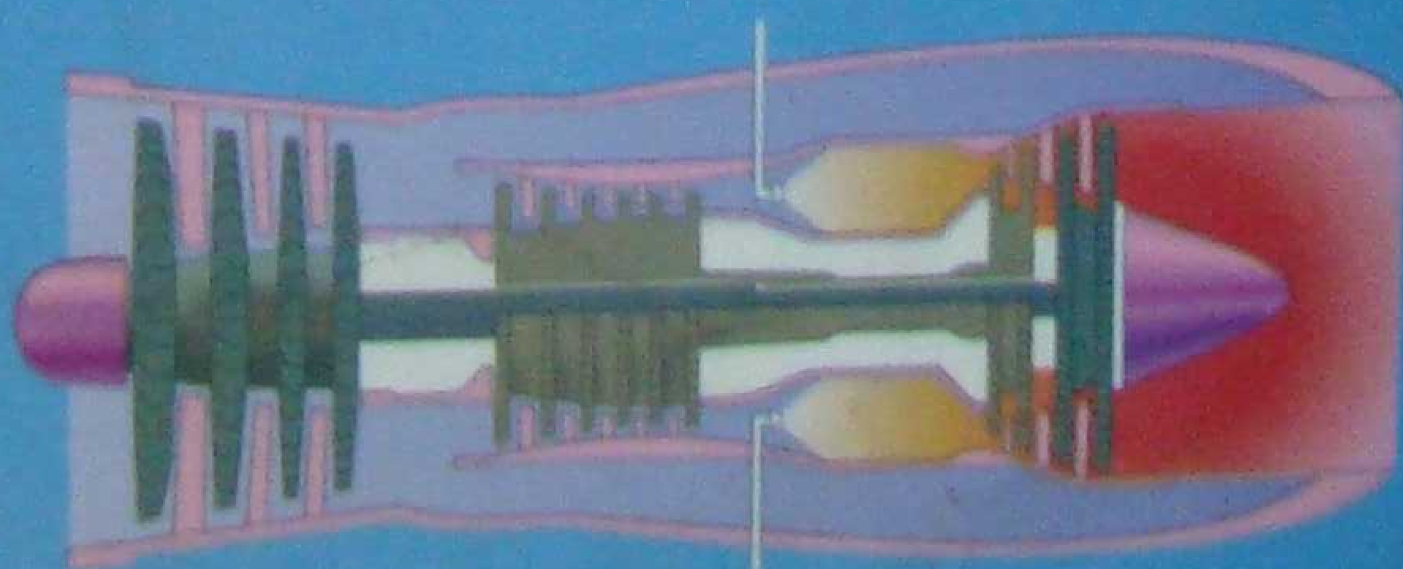
ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐ



Շոգեմեքենա



Ներքին այրման երկտակտ շարժիչ



Տուրբինապտուտակավոր շարժիչ



